

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE İÇ HAT UÇUŞLARINDAN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN
BELİRLENMESİ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASEMİN YILDIZ ŞEKERTEKİN

ŞUBAT 2017

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE İÇ HAT UÇUŞLARINDAN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN
BELİRLENMESİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasemin YILDIZ ŞEKERTEKİN

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Özgür ZEYDAN

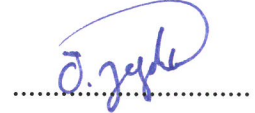
ZONGULDAK

Şubat 2017

KABUL:

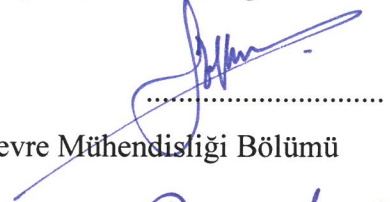
Yasemin YILDIZ ŞEKERTEKİN tarafından hazırlanan “Türkiye İç Hat Uçuşlarından Kaynaklanan Emisyonların Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 10/02/2017

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özgür ZEYDAN


.....

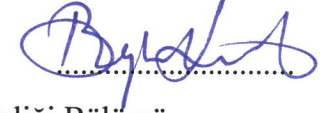
Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye: Yrd. Doç. Dr. Sefa KOCABAŞ


.....

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Beyhan PEKEY

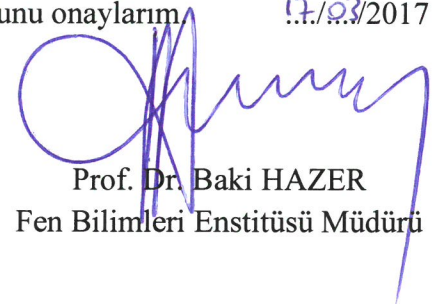

.....

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım

17/03/2017


Prof. Dr. Baki HAZER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Yasemin YILDIZ ŞEKERTEKİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE İÇ HAT UÇUŞLARINDAN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN BELİRLENMESİ

Yasemin YILDIZ ŞEKERTEKİN

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Özgür ZEYDAN

Şubat 2017, 77 sayfa

Karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaşımının kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır. Ulaştırma türlerindeki araçların kullanımının artması sonucunda yerel hava kirleticilerinin ve sera gazlarının salınımı da artmaktadır. Özellikle havayolu ulaşımında kullanılan tek bir aracın, troposfere ve alt stratosfere çevresel etkileri bulunmaktadır. Bu yüzden hava araçlarından kaynaklanan emisyonların, havalimanı çevresine ve uçuş güzergahındaki hava kalitesine etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için güncel ve doğru bir şekilde emisyon envanterleri oluşturulmalıdır.

Bu çalışmada IPCC'nin yayınladığı emisyon envanteri hazırlama klavuzu ve EEA emisyon faktörleri kullanılarak Türkiye'de aktarmasız iç hat uçuşlarından kaynaklanan kirleticiler için emisyon envanteri hazırlanmıştır. Emisyonlar, LTO faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar (CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, HC ve H₂O) ve seyir faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar (CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, N₂O, SO₂ ve NMVOC) ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu iki uçak faaliyetinde salınan emisyonlardan, ortak kirleticiler belirlenmiştir. CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5} olan ortak kirleticiler için Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak kirletici dağılım haritaları

ÖZET (devam ediyor)

oluşturulmuştur. Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan ARCGIS ile çizgisel olan uçak güzergahları, şehirlerin sınırlarından bölünerek sayısallaştırılmıştır. Güzergahlara bağlı kalınarak elde edilen mesafelere Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan MapInfo 11.5 kullanılarak

seyir emisyonları dağıtılmıştır. Havalimanları olan şehirlere LTO emisyonları da eklenerek Türkiye'deki aktarmasız iç hat uçuşlarından kaynaklanan CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5} kirleticilerinin dağılım haritaları oluşturulmuştur. Sonuç olarak CO kirletici emisyonları en fazla LTO faaliyetlerinden, PM_{2.5} kirletici emisyonları da en fazla seyir faaliyetlerinden, CO₂ ve NO_x kirleticilerinin LTO ve seyir faaliyetlerinden kaynaklandığı görülmüştür. Hesaplamalara göre en fazla kirletici emisyonuna maruz kalan şehirlerin İstanbul ve Ankara olduğu belirlenirken, güzergahlar üzerinde olup içerisinde havalimanı bulunmayan şehirler olan Sakarya, Kocaeli, Bolu, Kırıkkale ve Eskişehir'de de kirletici miktarlarının belirgin seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç hat uçuşları, Uçak tipleri, Emisyon envanteri, Hava kirleticileri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS).

Bilim Kodu: 615.02.02

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETERMINATION OF EMISSIONS CAUSED BY TURKISH DOMESTIC FLIGHTS

Yasemin YILDIZ ŞEKERTEKİN

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Özgür ZEYDAN

February 2017, 77 pages

The use and importance of all types of transportation namely airway, railway, sea way and road transport has been increasing day by day. Increase in the number of vehicles causes rise in the amount of local air pollutants and the release of greenhouse gases. Especially, just one aircraft affects the environment of troposphere and lower stratosphere. Therefore, up-to-date and accurate emission inventory should be prepared to understand the effects of aircraft based emissions to the environment of airport and air quality on air route.

In this study, emission inventory of pollutants caused by nonstop domestic flights in Turkey was calculated using the guideline preparing emission inventory published by IPCC. Emissions were calculated on the basis of the emissions (CO_2 , CO , NO_x , $\text{PM}_{2.5}$, HC and H_2O) caused by LTO activities and the emissions (CO_2 , CO , NO_x , $\text{PM}_{2.5}$, N_2O , SO_2 and NMVOC) caused by cruise activities. Mutual pollutants from these two aircraft activities were determined. CO_2 , CO , NO_x , $\text{PM}_{2.5}$ are the mutual pollutants and pollutant distribution maps were generated for these pollutants.

ABSTRACT (continued)

Air route of an aircraft was divided into parts on the basis of the cities, which the aircraft fly over, using ARCGIS software. Therefore the flight distance over all cities were digitized. Cruise emissions were distributed for all routes using a GIS software MapInfo.

The distribution maps caused by the pollutants (CO_2 , CO, NO_x , $\text{PM}_{2.5}$) for the non-stop domestic flights were obtained by adding LTO emissions for the cities that have airport. As a result, it is observed that the emission of CO pollutant is mostly caused by LTO activities, whereas the emission of $\text{PM}_{2.5}$ pollutant is mostly caused by cruise activities, and the emission of CO_2 and NO_x pollutants is mostly caused by LTO and cruise activities together. The obtained results show that Ankara and Istanbul are exposed to pollutant emission much more than the other cities. Although Sakarya, Kocaeli, Bolu, Kırkkale and Eskişehir does not have airport, it was observed that they are being affected by the pollutants prominently.

Keywords: Domestic flights, Aircraft types, Emission inventory, Air pollutants, Geographic Information System (GIS).

Science Code: 615.02.02

TEŞEKKÜR

Öncelikle gerek lisans bitirme tezimde gerekse bu çalışmamda beni en güncel konulara yönlendirip geleceğime ışık tutan, her zaman disiplinli ve istikrarlı çalışmasıyla tezimin üzerine titizlikle duran değerli Hocam ve Danışmanım Sayın Yrd. Dr. Özgür ZEYDAN'a (Bülent Ecevit Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü) teşekkür eder ve saygılar sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her zaman varlıklarıyla yanımda olan, gözle göremesem bile her dakika sesleriyle yanımda olan, başarılı olacağıma her zaman inanan, gerek kötü günümde gerekse iyi günümde sevgilerini hiçbir zaman eksik etmeyen, her zaman araştırmacı, öğrenmeye açık olan, benim geçmişim ve geleceğim olan Sevgili Annem Fatma YILDIZ, Sevgili Babam Yaşar YILDIZ, Sevgili Abim Raif YILDIZ'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Sevgili Eşim, yol arkadaşım, bugünüm ve yarınım olan Arş. Gör. Alihsan ŞEKERTEKİN'e tez çalışmam boyunca yaptığı yardımlar ve destekleri için çok teşekkür ederim.

Başarılarımı kutlamakta hiçbir zaman geç kalmayan, tez çalışmam boyunca manevi desteklerini hiç esirgemeyen, çocukluk yıllarım ve sıra arkadaşlarım olan Sevgili Devran TURAN ve Sevgili Esra YAZICI'ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamda Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarını kullanmamda yardımcı olan ve deneyimlerini paylaştan Sayın Arş.Gör. Çağlar BAYIK ve Sayın Arş.Gör. Mustafa ÖZENDİ'ye (Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü) teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 HAVA KİRLİLİĞİ, KİRLETİCİLERİ.....	3
2.1 HAVA KİRLİLİĞİ VE ETKİLERİ	3
2.2 HAVA KİRLETİCİ KAYNAKLARI	6
2.1.1 Doğal Kaynaklar	7
2.1.2 Yapay Kaynaklar	7
2.3 ATMOSFERİN YAPISI.....	7
2.4 HAVA KİRLETİCİLERİ	9
2.4.1 Karbon Dioksit Gazı (CO ₂).....	9
2.4.2 Azot Oksitler (NO _x)	9
2.4.3 Karbon Monoksit (CO).....	10
2.4.4 Hidro Karbonlar (HC).....	10

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.4.5 Partikül Madde (PM)	11
BÖLÜM 3 HAVAYOLU TAŞIMACILIĞI VE HAVAYOLU TAŞIMACILIĞINDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ	13
3.1 HAVAYOLU TAŞIMACILIĞI.....	13
3.2 HAVACILIK KAVRAMLARI	15
3.3 HAVACILIK EMİSYONLARI.....	16
3.4 HAVACILIKTAN KAYNAKLANAN EMİSYONLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ ...	18
3.4.1 Karbon dioksit (CO ₂)	18
3.4.2 Su Buharı (H ₂ O).....	20
3.4.3 Azot Oksit (NO _x)	20
3.4.4 Karbon Monoksit (CO)	23
3.4.5 Aerosoller.....	23
3.5 HAVACILIKTA EMİSYON ENVANTERİ.....	24
BÖLÜM 4 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ	29
BÖLÜM 5 ÇALIŞMA ALANI VE VERİLERİN ELDE EDİLMESİ.....	35
5.1 ÇALIŞMA ALANI	35
5.2 VERİLERİN ELDE EDİLMESİ.....	36
5.3 HESAPLAMA YÖNTEMİ VE EMİSYON FAKTÖRLERİ.....	38
5.4 EMİSYONLARIN HESAPLANMASI.....	38
5.5 SONUÇLARIN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİNE AKTARILMASI	44
BÖLÜM 6 BULGULAR VE TARTIŞMA	47
BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR.....	61
EK AÇIKLAMALAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ	77





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Hava kirliliği problemlerinin oluşmasında etkili faktörler	4
Şekil 2.2 Atmosfer katmanları	8
Şekil 3.1 Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün 2015 faaliyet raporunda yer alan yıllara ve yapılan seferlere göre uçak trafiği grafiği	15
Şekil 3.2 Uçak yapmış olduğu faaliyetlerin isimlendirmesi	16
Şekil 3.3 NO-NO ₂ dönüşümü ve O ₃ oluşumunda yer alan reaksiyonlar	21
Şekil 3.4 VOC (VOC: RO ₂ veya HO ₂) varlığında NO-NO ₂ -O ₃ döngüsü	22
Şekil 4.1 Bilgi sistemlerinin sınıflandırılması	29
Şekil 4.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin çalışma organizasyonu	30
Şekil 5.2 Kalkış noktası İstanbul Atatürk Havalimanı olan uçağın gideceği güzergahları ve varılan havalimanının MapInfo yazılımında gösterimi	45
Şekil 5.3 Tüm havalimanları için aktarmasız iç hat sefer güzergahları	45
Şekil 6.1 Türkiye'deki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan CO ₂ emisyonlarının şehirlere dağılımı haritası	48
Şekil 6.2 Türkiye'deki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan CO emisyonlarının şehirlere dağılımı haritası	49
Şekil 6.3 Türkiye'deki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan NO _x emisyonlarının şehirlere dağılımı haritası	50
Şekil 6.4 Türkiye'deki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan PM _{2.5} emisyonlarının şehirlere dağılımı haritası	51
Şekil 6.5 Türkiye aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan PM _{2.5} emisyonları ve 7 havalimanından diğer havalimanlarına olan güzergahlar	52



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Kirli atmosfer ile temiz atmosferin karşılaştırılması.....	3
Çizelge 3.1 LTO'daki motor performans yüzdeleri ve süreler	16
Çizelge 5.1 Türkiye'deki aktarmasız iç hat seferi yapan havalimanları	36
Çizelge 5.2 Adana Havalimanından yapılan seferler, sefer yapan uçakların uçak tipi ve LTO sayıları	37
Çizelge 5.3 Aktarmasız iç hat seferlerinde kullanılan uçak tipleri ve yakıt tüketiminden kaynaklanan emisyonların LTO'daki emisyon faktörler	39
Çizelge 5.4 Ortalama filo için seyir halinde kullanılan emisyon faktörleri.....	42
Çizelge 6.1 Atatürk Havalimanına ait 3 ayrı çalışmanın emisyon değerler	53
Çizelge 6.2 Türkiye'deki ulaştırma türleri için çeşitli yıllarda yapılan emisyon değerleri.....	55
Çizelge 6.3 Yapılan çalışmanın Dünya'daki diğer çalışmalar ile karşılaştırılması.....	55
Çizelge A.1 Emisyon değerleri hesaplanan havalimanlarının koordinatları	67
Çizelge B.1 Havalimanlarındaki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan LTO emisyonları.....	69
Çizelge C.1 Bir havalimanından diğerine aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan seyir emisyonları	71
Çizelge D.1 Şehirlerdeki CO ₂ , CO, NO _x VE PM _{2.5} emisyonlarının değerleri	75



EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Ek A Havalimanları Koordinatları	67
Ek B LTO Emisyonları	69
Ek C Seyir Emisyonları.....	71
Ek D Şehirlerdeki Emisyonlar.....	75





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°	: Derece
%	: Yüzde
μ	: Mikron
μm	: Mikrometre

KISALTMALAR

A	: Aktivite İstatistiği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BVOC	: Biyolojik Uçucu Organik Birleşikler
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CH₄	: Metan
CFC	: Kloro Floro Karbon
C_nH_m	: Benzin
C₂H₄	: Etilen
C₆H₆	: Benzen
CO	: Karbon Monoksit
CO₂	: Karbon Dioksit
dk	: Dakika
E	: Emisyon Miktarı
EEA	: European Environment Agency
EF	: Emisyon Faktörü
EMEP	: European Monitoring and Evaluation Programme
GIS	: Geographical Information Systems
gr	: Gram
HC	: Hidro Karbon

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

HO₂	: Hidroperoksi Radikali
H₂O	: Su Buharı
H₂SO₄	: Sülfürik Asit
IATA	: International Air Transport Association
ICAO	: International Civil Aviation Organization
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
Km	: Kilometre
l	: litre
LTO	: The Landing/Take-Off
m	: Metre
nm	: Nanometre
N₂	: Azot
NH₃	: Amonyak
NO	: Azot Monoksit
N₂O	: Diazot Monoksit
NO₂	: Azot Dioksit
NO_x	: Azot Oksitler
NMVOC	: Metan İçermeyen Uçucu Organik Bileşikler
O	: Oksijen Atomu
O₂	: Oksijen
O₃	: Ozon
PAN	: Peroksi Asitil Nitrat
PM	: Partikül Madde
PM₁₀	: Aerodinamik çapı 10 mikron (μ)'dan daha küçük olan partikül maddeler
PM_{2.5}	: Aerodinamik çapı 2.5 mikron (μ)'dan daha küçük olan partikül maddeler
ppm	: Parts Per Million
RO₂	: Organik Peroksi Radikali
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
S	: Kükürt Atomu
SO₂	: Kükürt Dioksit
SO₃	: Kükürt Trioksit
UNEP	: United Nations Environment Programme

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change
USGS	: United States Geological Survey
UV	: Ultraviyole
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler
WMO	: World Meteorological Organization





BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanoğlunun ateşi bulması ile süregelen hava kirliliği kavramı, gün geçtikçe artan nüfus ve bununla birlikte doğru orantılı olarak artan ihtiyaçlar ile bu kavram, hayatımızda önemli yer tutmaktadır. Evsel ısınma amacıyla kullanılan yakıtlar, sanayilerin ve termik santrallerin emisyonları, ulaşımda kullanılan yakıtlar, azaltılan yeşil alanlar ve bunlar gibi sayacağımız birçok faaliyetler bize hava kirliliği kaynağı olarak gösterilmektedir.

Havadaki kirliliği oluşturan CO₂ (karbon dioksit), CO (karbon monoksit), SO₂ (kükürt dioksit), NO_x (azot oksit), N₂O (diazot monoksit), PM_{2.5} (aerodinamik çapı 2.5 mikron (µ)'dan daha küçük olan partikül maddeler), CH₄ (metan), HC (hidro karbon), NMVOC (metan içermeyen uçucu organik bileşikler) gibi kirleticiler nedeniyle hava olayları değişkenlik göstermeye yıllar önce başlamıştır. Oluşan asit yağmurları, iklim değişiklikleri, buzulların erimesi, okyanuslardaki su seviyelerinin artması, orman yangınları, kasırgalar gibi afetlere havadaki kirleticiler çok önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmanın 2. Bölümünde hava kirliliği kavramı detaylı olarak incelenmiş ve hava kirleticileri hakkında bilgi verilmiştir.

Hava kirliliğinin başlıca kaynaklarından biri de ulaşım faaliyetleridir. Havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar hava kirliliğinin artmasında önemli rol almasına rağmen genellikle emisyon envanterlerine dahil edilememektedir. 3. Bölümde havayolu ulaşımı ile ilgili kavramlar açıklanmış, uçaklardan kaynaklanan kirletici türleri ve havayolu ulaşımı için emisyon envanteri hazırlanması ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Günümüzde hava kirliliğinin miktarı, kirleticiler için emisyon envanterleri hazırlanarak belirlenmektedir. Belirlenen kirletici miktarları temiz hava planlarının hazırlanmasında ve hava kalitesi modelleme çalışmalarında girdi olarak kullanılmaktadır. Hazırlanan emisyon envanteri, yönetmeliklerdeki sınır değerler ile karşılaştırılıp emisyon kontrol politikaları da belirlenmektedir.

Hava kalitesi modellemesi sonucunda elde edilen kirleticilerin konsantrasyon miktarları, Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılarak kirlilik dağılım haritalarına dönüştürülmektedir. Bölüm 4'te Coğrafi Bilgi Sistemleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Bu çalışmada da hazırlanan emisyon envanterleri için Coğrafi Bilgi Sistemlerinden yararlanılarak kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle Türkiye'deki aktarmasız iç hat uçuşlarından kaynaklanan hava kirleticileri için emisyon envanteri hazırlanmıştır. Emisyon envanterlerinde kullanılan emisyonlar uçakların iniş/kalkış sırasındaki faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlardan (CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, HC ve H₂O) ve uçakların seyir faaliyetinden kaynaklanan emisyonlardan (CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, N₂O, SO₂ ve NMVOC) oluşmaktadır. Bu iki faaliyetteki ortak kirleticilerin emisyon miktarları Coğrafi Bilgi Sistemine aktararak, Türkiye'de aktarmasız iç hat uçuşlarından kaynaklanan belirli kirleticiler (CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}) için ayrı ayrı yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmanın 5. Bölümünde çalışma konusu olan iç hat uçuşlarının yapıldığı havalimanları, bu uçuşlarda kullanılan uçak tipleri, bu uçaklara ait emisyon faktörleri ve havalimanları ile uçuş rotalarının CBS ortamına aktarılması detaylı olarak açıklanmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular 6. Bölümde sunulmuştur. Bu bölümde, havalimanlarındaki noktasal kirleticilerin ve uçuş güzergahları olan çizgisel kirleticilerin miktarları belirlenerek, alansal kirletici olan şehirler için tematik haritalar oluşturulmuştur. Ayrıca bulunan sonuçlar literatürde yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Son bölümde ise çalışma sonuçları kısaca özetlenmiş ve bundan sonra yapılması gereken diğer çalışmalar ile ilgili öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

HAVA KİRLİLİĞİ VE KİRLİTİCİLERİ

2.1 HAVA KİRLİLİĞİ VE ETKİLERİ

Teknoloji ile birlikte gelen, modern hayatın yan ürünü olan hava kirliliği (Saral 2011), renksiz ve kokusuz bir gaz karışımı olan atmosferin insan faaliyetleri sonucu bozulmasıdır (Kopar ve Zengin 2009). Teknik olarak; T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 'Asit Yağmurları ve Hava Kirliliği Değerlendirme Raporu' doğrultusunda, "Hava kirliliği; atmosferde toz, gaz, duman, koku, su buharı şeklinde bulunan unsurların insan ve diğer canlılar ile ekolojik dengeye ve eşyaya zarar verici miktara yükselmesi" olarak tanımlanabilir (İlhan 2006).

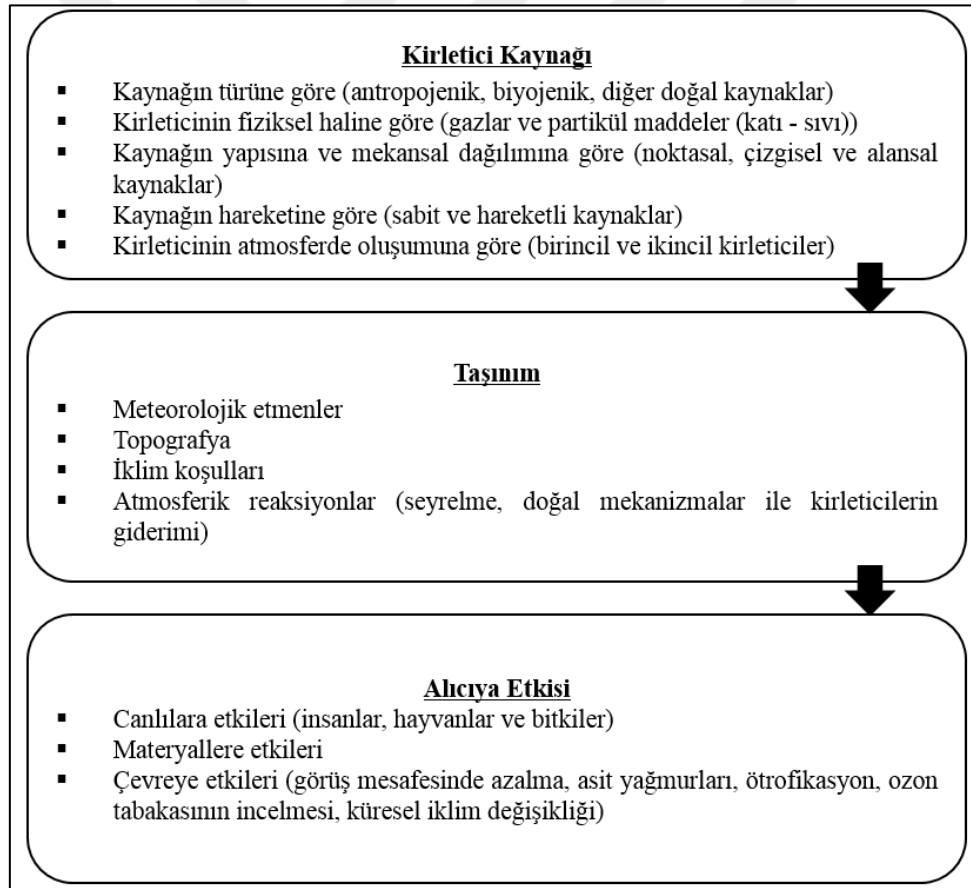
Katı, sıvı ve gaz atıkların oluşturduğu hava, su ve toprak kirliliği problemleri, günümüz çevre problemlerinin temel unsurlarıdır. Bu kirlilik problemleri içerisinde belki de en kısa sürede etkisini görebileceğimiz kirlilik türü hava kirliliğidir. Temiz ve kirli hava olarak tarif edilen havada bulunan ve kirlilik oluşturan belli başlı bileşenler Çizelge 2.1'de görülmektedir (Saral 2011).

Çizelge 2.1 Kirli atmosfer ile temiz atmosferin karşılaştırılması (Saral 2011).

Bileşen	Temiz Hava (ppm)	Kirli Hava (ppm)
Azot (N ₂)	790000	790000
Oksijen (O ₂)	20950	20950
Karbon Dioksit (CO ₂)	320	400
Karbon Monoksit (CO)	0.1	40-70
Metan (CH ₄)	1.5	2.5
Diazot Monoksit (N ₂ O)	0.25	-
Azot Oksit (NO _x)	0.01	0.2
Ozon (O ₃)	0.02	0.5
Kükürt Dioksit (SO ₂)	0.0002	0.2
Amonyak (NH ₃)	0.001	0.02
Diğer Kirleticiler	Değişken	Değişken

Çizelge 2.1’de, bileşenler için verilen “ppm” (parts per million - milyonda bir) birimi, 1 milyon hava hacmi içerisindeki bileşenin hacmi olarak tanımlanmaktadır. Mesela kükürt dioksit gazının temiz havadaki miktarı 1 milyon litre hava içerisinde 0.0002 litre iken; bu miktar yine 1 milyon litre havada 0.2 litrenin üzerine çıkarsa, bu hava kükürt dioksit bakımından kirli olarak tarif edilir. Havanın kirli olduğunu söyleyebilmemiz için çizelgedeki kirletici bileşenlerin tamamının birden kirlilik sınırını aşması gerekmiyor. Herhangi birinin verilen kirlilik sınırını aşması, havanın o kirletici bakımından kirli olması demektir (Saral 2011).

Havadaki kirliliğin alıcıya etkisi iki adımdan sonra gerçekleşmektedir. Kaynağından çıkan kirletici, meteorolojik etmenlere ve topografik koşullar bağlı olarak taşınımı ile alıcıya ulaşır. Kirletici kaynağı, kirletici taşınımı ve kirleticinin alıcıya etkileri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Hava kirliliği problemlerinin oluşmasında etkili faktörler (Zeydan 2008).

Hava kirlenmesine neden olan ilk kirleticiler doğal kaynaklardır (Örneğin: bataklıklar, yanardağlar vb.). Bu nedenle dünya da atmosferin oluşumundan bu yana kesintisiz olarak

kirlenme vardır. Fakat insan faaliyetlerinin etkili olduğu dönemler esas alındığında ateşin keşfi ile hava insanlar tarafından kirletilmeye başlanmış, kömürün keşfi ve kentsel yerleşimlerde fazla kullanımı ile kirlenmenin miktarı artmış, sanayileşmeyle birlikte günümüzdeki değerlere ulaşmıştır (Tünay ve Alp 1996). Kirletici kaynakları “2.2 Hava Kirletici Kaynakları” başlığı altında detaylandırılmıştır.

Antropojenik kaynaklardan salınan emisyonlar nedeniyle kirletici konsantrasyonlarının sürekli artış içerisinde olması, atmosfere ve içerisindeki canlı-cansız tüm varlıklara apaçık bir tehdittir. Antropojenik emisyonların sürekli artmasının nedeni, yaşam kalitesindeki artışa bağlı olarak ortaya çıkan enerji ihtiyacı sebebi ile fosil yakıtların tüketilmesidir. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar yerel hava kirliliği, tüm canlılarda sağlık problemi, nesnelere renk bozulmaları, aşınma ve yıpranma, asit yağmuru, ozon tabakasında incelme ve küresel ısınma şeklinde geri dönmektedir. Hava kirliliği ve etkileri, kirleticilerin detaylı olarak açıklandığı Bölüm 2.4’te tartışılmıştır. Bu bölümde bölgesel ve küresel hava kirliliği problemlerinden asit yağmurları, ozon tabakasının incelmeye ve iklim değişikliği konularına kısaca değinilmiştir.

Emisyonların artışının diğer bir sonucu da asit yağmurlarıdır. Atmosfere bırakılan kükürt dioksit, azot oksitler su buharı ile tepkimeye girerek asitlere dönüşürler. Bu asitler yağmurları birleşerek yeryüzüne inerler. Oluşan asidik yağış sonucunda ormanlarda ve bitkilerde ağır tahribatlara, göl, nehir gibi sularda bulunan algler ve balıkların ölümüne, topraklardaki tuzların erimesi ile toprağın verimsizleşmesine, tarihi ve kültürel varlıklarda aşınma ve yıpranma, her türlü yapı malzemesinin ömrünün kısalmasına neden olmaktadır (Akdur 1998).

Ozon tabakasının incelmeye sebebi de hava kirletici emisyonlarının artışıdır. Ozon tabakası yer yüzeyinin 20-25 kilometre (km) üzerinde bir bölgede, atmosferin stratosfer katmanında yer almaktadır. Bu tabaka güneş ışınlarındaki yüksek enerjili ultraviyole (UV) ışınları süzerek düşük enerjili ışınların troposfere ve yer yüzeyine ulaşmasını sağlamaktadır (Zeydan 2008). Ozon tabakasındaki incelmeye kloro flor karbon (CFC) gazları neden olmaktadır (Saral 2011). CFC’ler, spreylerde itici gaz olarak, soğutma sistemlerinde (buzdolabı, klima) ısı taşıyıcı ve soğutucu gaz olarak kullanılmaktadır. Ozon tabakasındaki meydana gelecek herhangi bir incelme, ışınların yer yüzeyine daha yüksek enerjide gelmesine neden olacağı için CFC emisyonlarının kontrol altına alınması gerekmektedir. Çünkü yer yüzeyine yüksek enerjili ışınların ulaşması sonucunda bu ışınlarla maruz kalan canlılarda DNA

tahribatına ve bunun sonucu canlılarda gen değişimine, insanlarda özellikle deri kanserlerine, tüm canlıların bağışıklık sisteminde azalmaya, denizlerde alg gibi canlıların ölümüne ve tarım ürünlerinde azalmaya neden olacaktır (Akdur 1998). Bu gazların kullanımı Montreal Protokolü ile yasaklanmıştır. Ancak bu gazların atmosferik ömrü çok uzun olduğundan daha önceden atmosfere salınan CFC'ler ozon tabakası için tehdit oluşturmaya hala devam etmektedir.

İklim değişikliği modern yaşamın bize getirdiği yeni bir kavram olarak algılanmaktadır. İklim değişikliği aslında dünyanın oluşumundan itibaren vardır. Başlarda dünyadaki sistem, doğal kaynaklardan kaynaklanan iklim değişikliğine adapte olacak hızda ilerlemekteydi. Ama artık günümüzde bu kavram bize bir sorun olarak karşımıza çıkmakta ve tamamen insan faaliyetleri sonucu gerçekleşmektedir. İklim değişikliğine atmosferdeki sera etkisinin kuvvetlenmesi neden olmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı sonucu oluşan sera gazları CO₂, CH₄, N₂O ve H₂O'dur. Bilindiği üzere güneşten gelen enerji, atmosferden geçerek dünyanın yüzeyini ısıtırken, yer yüzeyi enerjinin bir kısmını geri yayımlar. Geri yayımlanan enerji, sera gazları tarafından atmosferde tutulur. Oluşan bu doğal sera etkisi dünyayı yaşanabilir sıcaklıkta tutmaktadır. Atmosferdeki sera gazlarının konsantrasyonlarının artması ile yeryüzünden yayımlanan radyasyon atmosferde daha yüksek miktarlarda tutulur. Bunun sonucu olarak dünyanın sıcaklığı daha da artacak, iklimi oluşturan etmenler değişecektir (Pekin 2006). Bu konu ile ilgili Kadioğlu (2009), küresel iklim değişikliği hakkındaki bir yazısında IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli) tarafından yapılan 2030 yılı iklim senaryosunu ele almıştır. IPCC 2030 iklim senaryosunda '*sıcak hava dalgaları, orman yangınları, tarımsal hasarlar, kuraklık, şiddetli yağışlar, tropikal fırtınaların sayısı ve şiddetinin artışı, sıtma ve bunun gibi hastalık taşıyan böceklerin yayılarak artması*' gibi tehlikelerin ortaya çıkacağı yer almaktadır. Kadioğluna göre bu tehlikeler, canlı ekolojisine açık bir tehdittir (Kadioğlu 2009).

2.2 HAVA KİRLLETİCİ KAYNAKLARI

Hava kirletici kaynaklarını birçok farklı grup altında incelemek mümkündür. Kaynağın türüne göre doğal kaynaklar ve yapay kaynaklar olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Hava kirletici kaynaklarını, oluşum yerine göre noktasal kaynak, çizgisel kaynak ve alansal kaynak olarak sınıflandırabiliriz. Fabrikalar, enerji tesisleri, havalimanları noktasal kaynak, konutların ısıtılması alansal kaynak, ulaşımın olduğu alanlar çizgisel kaynak olarak adlandırılır.

Kaynağın hareketine göre kirletici kaynakları sabit (evsel ısınma, endüstriyel tesisler vb.) veya hareketli (ulaşım) olarak da sınıflandırılır. Ayrıca hava kirleticilerini atmosferde oluşumlarına göre birincil ve ikincil kirleticiler şeklinde iki gruba ayırmak mümkündür. Birincil kirleticiler (SO₂, NO, NO₂, CO, CO₂, PM) herhangi bir emisyon kaynağından doğrudan atmosfere salınırken, ikincil kirleticiler (troposferik ozon, peroksi asit nitrat (PAN), kükürt trioksit (SO₃), sülfürik asit (H₂SO₄)) ise herhangi bir kaynaktan salınmayıp atmosferik reaksiyonlar sonucu oluşurlar (Colls 2002).

2.1.1 Doğal Kaynaklar

Doğal kaynaklarda gazlar, organik maddelerin çürümesinden, orman yangınları ve volkanik patlamalardan, çöl fırtınalarından, deniz ve okyanuslardan salınabilir. Ayrıca bitkilerden de atmosfere salınan polenler ve biyolojik emisyonlar da doğal kaynaklara örnek olarak verilebilir (Saraç 2011).

2.1.2 Yapay Kaynaklar

Yapay kaynaklardaki emisyonlar insan faaliyet sonucu oluşmaktadır. Evsel ısınmadan, endüstriyel faaliyetlerden, yakma tesislerinde kullanılan fosil yakıtlardan (odun, kömür ve petrol türevleri) gaz kirleticiler, partikül kirleticiler ve proses emisyonları, katı atık depolama sahalarından oluşan partikül ve gaz kirleticiler, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan gaz kirleticiler, ulaşımdan kaynaklanan (motorlu kara taşıtları, uçaklar, gemiler, trenler) partikül ve gaz kirleticiler yapay kaynaklara örnek olarak verilebilir (Colls 2002).

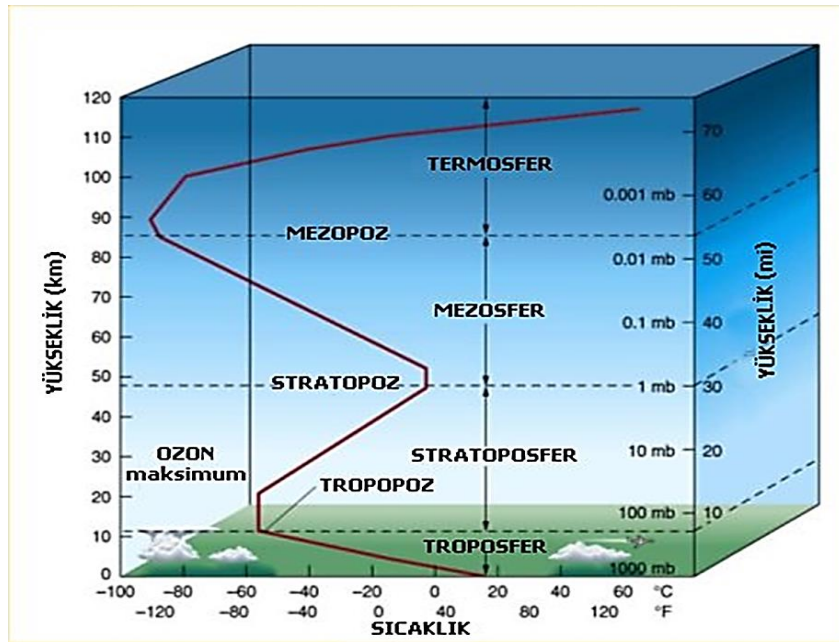
2.3 ATMOSFERİN YAPISI

Hava kirliliği olayları atmosferin ilk iki katmanı olan troposfer ve stratosferde gerçekleşmektedir. Şekil 2.2’de atmosfer katmanlarının yükseklik ve sıcaklıkla olan ilişkisi gösterilmiştir. Meteorolojik olayların gerçekleştiği ve hava kirliliğinin olduğu katman troposfer katmanıdır (Zeydan 2008). Troposfer, Dünya yüzeyinden başlar ve 8 ila 14.5 km’ye kadar yüksekliğe uzanır ve atmosferin en yoğun katmanıdır (URL-1 2016). Atmosferi oluşturan gazların % 75-80’ni, su buharının %99’u bu katmanda bulunur. Gazların ve su buharının konsantrasyonu enlemlere göre değişkenlik göstermektedir (URL-2 2016).

Troposfer katmanının üzerinde bulunan katman stratosferdir. Stratosfer katmanı troposferden itibaren 50 km'lik yüksekliğe kadar ulaşmaktadır. Stratosferde ozon tabakası bulunmaktadır. Bu tabaka güneş ışınlarındaki zararlı ultraviyole ışınları süzerek, bu ışınların yer yüzeyine ulaşmasını engellemektedir (URL-1 2016) .

Hava kirliliği olayları troposfer ve stratosfer katmanlarında meydana gelmektedir. Troposferde yüksekliğe çıkıldıkça hava sıcaklığı azalırken, stratosferde yüksekliğe çıkıldıkça hava sıcaklığı artmaktadır (URL-3 2016). Stratosferdeki sıcaklık artışının nedeni, ozon tarafından tutulan ultraviyole ışınları, ozon moleküllerinin hareketini arttırmaktadır. Bu durum sıcaklık artışına neden olmaktadır (URL-2 2016).

Stratosferin hemen üzerinden başlayan mezosfer katmanı 85 km yüksekliğe kadar ulaşmaktadır. Meteorlar bu katmanda parçalanırlar. Termosfer, mezosferin hemen üzerinde başlar ve 600 kilometreye kadar uzanır. Mezosfer katmanında uydular vardır. İyonosfer katmanı yerden yaklaşık 48 km yükseklikten başlayıp 985 km'lik mesafeye kadar uzanmaktadır. İyonosfer, güneş ışınlarının dalga boyuna göre büyür ve küçülür. Bu katman mezosfer ve termosfer katmanı ile örtüşmektedir ve radyo iletişimi mümkündür. Termosfer katmanından 10000 km yüksekliğe kadar uzanan katman ekzosfer katmanıdır ve bu katman atmosferin en üst sınırını oluşturmaktadır (URL-1 2016).



Şekil 2.2 Atmosfer katmanları (URL-2 2016).

2.4 HAVA KİRLLETİCİLERİ

2.4.1 Karbon Dioksit Gazı (CO₂)

Atmosferde en fazla bulunan karbondioksit gazı aynı zamanda bir sera gazıdır. Aldığımız nefes, yaktığımız yakıt, çürüyen canlılar, kullanılan fosil yakıtlar, doğal afetler ve bunlar gibi olaylar sonucunda CO₂ atmosfere karışmaktadır.

Karbondioksit renksiz ve kokusuz bir gazdır. CO₂ gazı kızılötesi ışınları tutarak sera etkisini kuvvetlendirmekte ve sıcaklık artışına neden olmaktadır. Dünyamızın atmosferinde hiç CO₂ bulunmasaydı, Dünya yaşamak için çok soğuk bir yer olurdu.

Sanayi devriminden başlangıcında atmosferdeki CO₂ konsantasyonu 281 ppm (Atalık 2005) olarak ölçülmüşken, bu değer 2014 yılında 395.95 ppm, 2015 yılında 398.29 pmm ve 2016 yılında 401.57 ppm değerine ulaşmıştır (URL-4 2016). 2001 yılında Cicerone ve arkadaşlarına göre CO₂'in ortalama yıllık artışın son 20 yılda 1.5 ppm/yıl olduğu belirtilmiştir (Cicerone ve ark 2001). Yapılan araştırmalarda iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin gözlenmemesi için CO₂ konsantrasyonunun en fazla 350 ppm olması gerektiği belirtilmiştir. Günümüzde bu değer çok daha üzerinde olduğunu görüyoruz. 2010 yılındaki bir kaynağa göre CO₂ miktarının yıllık 2 ppm değişmektedir (URL-5 2016). Bugüne baktığımızda yıllık değişim 2 ppm'in üzerine çoktan çıkmış hatta bu değer aşılma üzere olduğu görülmüştür. CO₂ değerinin artması sonucu iklim değişikliğini hissedilir şekilde yaşıyoruz. İklim değişikliği; sıcaklık artışı, mevsimlerin değişmesi, buzulların erimesi, okyanus sularının seviyelerinin artması, yağışların artması ve azalması, toprak verimliliğin düşmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

2.4.2 Azot Oksitler (NO_x)

Hava kirliliğinde azot monoksit (NO) ve azot dioksitin (NO₂) toplamı NO_x olarak gösterilir. Azot oksitlerin doğal kaynakları olarak bakteri faaliyetleri gösterilir (Tünay ve Alp 1996). Antropojenik olarak azot oksitlerin kaynakları ise yanma prosesleri, hava, deniz ve demiryolu ulaşımı, tarımda kullanılan iş makinaları, termik santraller ve endüstriyel faaliyetlerdir. NO_x'ler troposferdeki ozon oluşum reaksiyonlarına katıldıkları için dolaylı olarak sera

etkisine neden olurlar (Zeydan 2008). NO_x'ler atmosferde H₂O ile reaksiyona girerek asit yağmurlarının oluşmasına sebep olurlar.

2.4.3 Karbon Monoksit (CO)

Karbon içerikli maddelerin eksik yanma sonucu CO gazı oluşmaktadır. Bu gaz renksiz, Kokusuz, toksik bir gazdır. CO, CH₄ ve troposfer ozonunun, diğer atmosfer elemanlarıyla (hidroksil radikali gibi) kimyasal reaksiyona girmesine katkıda bulunduğundan, CH₄ ve troposfer ozonunun konsantrasyonlarının artmasından dolayı olarak sorumludur (Gillenwater 2002).

Karbon monoksit son derece zehirli bir gazdır. İnsan sağlığı açısından çok tehlikelidir. Kanda bulunan hemoglobinin havadaki oksijeni akciğerlerden vücuttaki diğer dokulara taşır. Eğer havada karbon monoksit mevcutsa hemoglobinin oksijen yerine karbon monoksit ile birleşir. Çünkü karbon monoksitin hemoglobine bağlanma yeteneği oksijenden 200-300 kat fazladır. Bunun sonucu olarak meydana gelen karbondioksit zehirlenmesinde, vücuttaki oksijen seviyesi düşer. Oksijen seviyesinin düşmesi de ölümlere yol açabilir (Durşen ve Yasun 2012).

Karbon monoksit kararlı bir gazdır. Atmosferde kalıcılık süresi 2 aydan fazladır. Dünyadaki karbon monoksit üretiminin yaklaşık olarak %70'inden fazlasının ulaştırma sektöründen geldiği bilindiğine göre bu sektördeki kontrol teknolojileri oldukça önemlidir (URL-6 2016).

2.4.4 Hidro Karbonlar (HC)

Zehirli olmayan fakat zararlı etkileri olan hidrokarbonlar petrol, doğalgaz, kömür gibi maddelerin yanmasıyla oluşur (URL-6 2016). Yapılarında karbon ve hidrojen bileşikleri bulunan bu maddelerin doymuş ve doymamış olmak üzere iki tipi vardır.

Doymuş HC'lar parafin serisi, metan serisi ve alkanlar olarak bilinirler ve esas kaynakları petroldür. Benzin ve dizel yakıtı bu bileşiklerin çoğunu içeren bir karışımdır. Doymuş hidrokarbonlar renksiz kokusuzdur. Doymamış HC'lar etilen (C₂H₄) serisi, diolefinler, polienler, asetilen serisi olarak 4 sınıfa ayrılırlar (Samsunlu 2011).

Motorlu taşıtlarda kullanılan petrolün, tamamının yanmaması sonucu etilen ve benzen (C_6H_6) gibi hidrokarbonlar çevreye salınır. Bu hidrokarbonlar, havadaki başka kimyasal maddelerle tepkimeye girdiğinde, gözlere ve solunum yollarına zararlı etkileri olur. Benzen gibi bazı hidrokarbonların kanser yapıcı etkileri de vardır. Özellikle oluşan fotokimyasal olaylarda kloroflorokarbonlar, güneşten gelen zararlı UV ışınlarına karşı yeryüzünü koruyan ozon tabakasında incelmeye neden olmaktadır (Çağatan 2011).

2.4.5 Partikül Madde (PM)

Katı ve sıvı taneciklerin havada askıda kalması ile oluşan maddeler atmosferik aerosoller olarak adlandırılır. Partikül maddeler, boyutları 0.01-100 mikrometre (μm) arasında değişen aerosollerdir. Partikül madde türlerini toz, duman ve mist olarak sayabiliriz. Toz 1-1000 μm , duman 0.4-1 μm ve mist 0.06-10 μm boyutundadır (Tünay ve Alp 1996).

Partikül maddeler havada tane irilikleri ve yoğunluklarına bağlı olarak değişik sürelerle askıda kalabilirler. Aerodinamik çapı 10 mikron (μ)'dan daha küçük olan partikül maddeler PM_{10} şeklinde tanımlanmaktadır. $PM_{2.5}$, PM_{10} 'a benzer şekilde tanımlanmakta ve 2.5 μ 'dan daha küçük parçacıkları kapsamaktadır.

Partikül maddeler organik ve inorganik yapıda olabilirler. Hava kirlenmesinde önem taşıyan inorganik bileşenler sülfat, nitrat, kurşun, demir, mangan, çinko ve vanadyum; organik bileşenler ise çeşitli hidrokarbonlar ile fenoller, organik asitler ve alkollerdir.

Partikül emisyonların en önemli doğal kaynakları volkanlardır. Diğer kaynakları orman yangınları, endüstriyel atıklar, fabrikalar, dizel motorlar, inşaat faaliyetleri olarak gösterilebilirler.

Maruz kalma süresine göre partikül maddeler insanlarda özellikle solunum sistemini olumsuz etkiler. 0.01 - 0.1 μ arasındaki partikül maddeler solunum sisteminde birikebilir. 1 - 2 μ arası partiküller hava kesecikleri ve broşlarda tutulabilir. Bitkiler de ise gözenekleri tıkayarak fotosentez oluşumunu engeller. Hayvanlar içinse partikül madde içeren bitkileri tüketen hayvanları zehirleyebilirler (Atalık 2005).

2.5 Su Buharı (H₂O)

H₂O bir sera gazı olduğundan, Dünya'nın yüzeyini ısıtma eğilimindedir. Atmosferde suyun gaz hali olarak bulunur. Atmosferin yeryüzüne yakın yerlerinde çok nadir bulunan bu gaz, bulutların oluştuğu yükseklikteki atmosfer katmanında bol miktarlarda bulunur (URL-6 2016).

Bulutlar hem güneşten gelen hem de karadan yansıyan ışınları hem absorbe eder hem de yansıtır. Uçaklar, arkalarında çizgi şeklinde bulutlara benzeyen, su buharı ve diğer atıklardan oluşan iz bırakırlar. Bu yapı da ışımaya etkileri bakımından bulutlara benzemektedir (Gillenwater 2002).

Uçaklardaki H₂O emisyonu troposferde serbest kalır ve 1-2 hafta içinde yağışla emisyon azalır. H₂O emisyonlarının bir kısmı stratosferde serbest bırakılır. Su buharı burada daha düşük konsantrasyonlarda yoğunlaşmaya neden olur. Stratosferdeki ilave H₂O, polar stratosferik bulutlar oluşturarak hidroksil radikallerine neden olabilir ve O₃'ü doğrudan ya da dolaylı olarak azaltabilir. Bu etkiler uçak emisyonlarının diğer iklimsel veya kimyasal etkileriyle karşılaştırıldığında daha azdır (Schumann 2002).

BÖLÜM 3

HAVAYOLU TAŞIMACILIĞI VE HAVAYOLU TAŞIMACILIĞINDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİ

3.1 HAVAYOLU TAŞIMACILIĞI

Ulaşım konusunda uzun mesafeleri kısa zamanlara indirme amacı olan havayolu taşımacılığında, hava araçları kullanılarak tarifeli ve tarifesiz olarak yolcu, yük ve kargo taşımacılığı yapılmaktadır. Havayolu sektöründe sürekli yenilenen bir teknoloji ve bununla beraber sürekli artırılan kapasite vardır. Kapasite artışı bu sektörü kullanan yolcu sayısını da arttırmaktadır. Hava ulaşımının geliştirilmesi; insanların daha hızlı ve kolay seyahat etmesini, ulusal ve uluslararası ticaretin genişlemesini ve turizmin gelişmesini sağlamaktadır (SHGM 2016).

Uçmak kavramı yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. İtalyan sanatçı ve bilim adamı olan Leonardo da Vinci, 1505'te yayınladığı bir eserinde, bugünkü helikopterin temel kavramını içeren birçok ayrıntılı uçan-makine tasarımı olduğu görülmüştür. 1632 yıllarında ise Osmanlı İmparatorluğu'nda da Hezarfen Ahmet Çelebi İstanbul Boğazı'nı kanatla geçmiştir.

Havacılık tarihinde ilk motorlu uçuş yapanlar Orville ve Wilbur Wright kardeşlerdir. Wright kardeşler yaptıkları havadan ağır motorlu araç ile 17 Aralık 1903 yılında havada 12 saniye kalarak 36.5 metre (m) yol almışlardır.

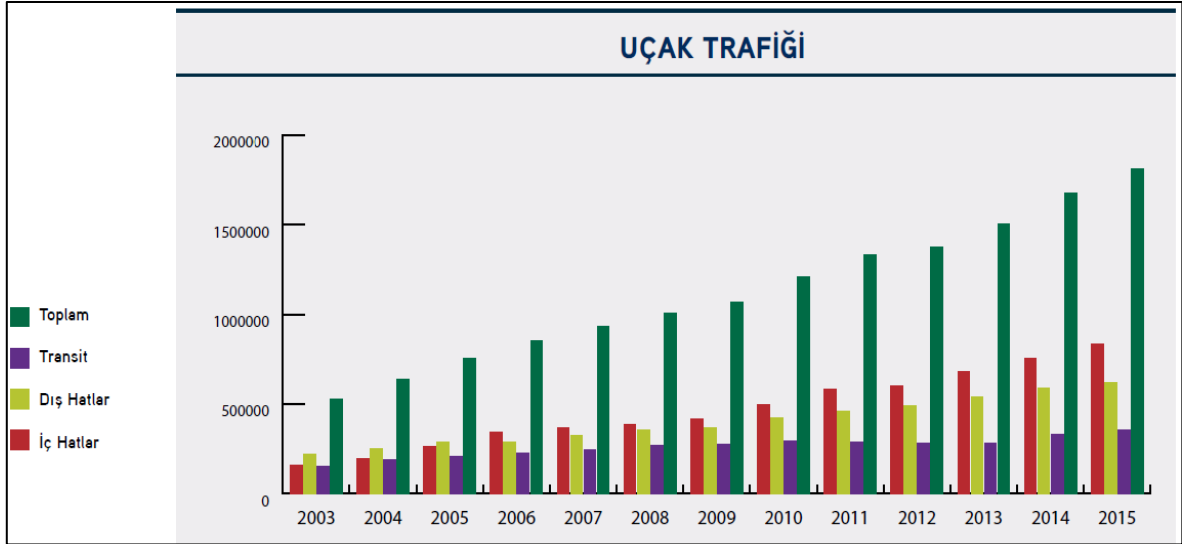
1908 yılından Birinci Dünya Savaşının başladığı 1914 yılına kadar hız, yükseklik, havada kalış süreleri gibi konularda başarılı denemeler yapılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Büyük Britanya, Almanya ve Fransa gibi önde gelen ülkeler, oluşturdukları uçak filoları ile savaşa katılmışlardır. Birinci Dünya Savaşının son yılı olan 1918'de uçakların tasarımı ve performansı oldukça iyi bir hal almıştı. 1919 yılında İngiliz Kraliyet Hava

Kuvvetleri'ne ait bir uçuş ekibi ilk kez İngiltere-Avustralya uçuşunu gerçekleştirmiştir. 1930'lu yıllarından başında uçak yapım tekniğinde kullanılan ağaç, kumaş ve kontrplak yerine alüminyum kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknik gelişmelerin ardından 1939 sonlarında ABD havayolu şirketleri, yılda yaklaşık üç milyon yolcu taşımaya ve tüm büyük kentlere uçuşlar düzenlemeye başlamışlardır (URL-7 2016).

Türkiye'de 1933 yılında iç hat seferleri ile başlayan havayolu taşımacılığı, 1947 yılında Ankara-İstanbul-Atina uçuşu ile ilk yurtdışı seferini yapmıştır (URL-8 2016). 1983 yılında Sivil Havacılık Kanununda yapılan değişiklik ile özel kuruluşlara da havayolu, havalimanı ve yer hizmetleri işletmeciliği yapabilme hakkının verilmesinin ardından Türk hava taşımacılığı hızlı bir gelişim göstermiştir. 2003 yılında Ulaştırma Bakanlığı (güncel adıyla; Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı) tarafından özel havayolu işletmelerine iç hatlarda istedikleri güzergahta uçuş izni verilmesi ile birçok özel havayolu şirketi iç hatlarda kullanılmak üzere filolarına yeni uçaklar katmışlardır (Oktal ve Küçükönel 2007).

Havayolu Sektörü'nün 2015 yılındaki raporuna göre Türkiye'deki sivil havacılık sektöründe, 38 adedi uluslararası tarifeli-tarifesiz iç hat/dış hat, 17 adedi ise sadece iç hat seferlere açık toplam 55 havalimanı bulunmaktadır (DHMİ 2015). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)'nün yayınlamış olduğu 2015 faaliyet raporuna göre ülkemizde 13 havayolu işletmesi bulunmakta ve şirketlerin toplam uçak sayısı 2013'de 385, 2014'de 422, 2015'de 489 ve 2016'da Nisan ayı verilerine göre 500 adettir (SHGM 2016).

İşletmeler her yıl, uçak üreticileri ve ülkeler arasındaki yatırım politikaları dahilinde ya da uçak üretici firmalarının sundukları satış sonrası garanti, yedek parça, bakım ve servis hizmetleri gibi işletme stratejileri olarak uçak alımı yapmaktadır (Altuntaş ve Karakoç 2011). Şekil 3.1'de SHGM'nin 2015 faaliyet raporunda yıllara ve yapılan seferlere göre uçak trafiğindeki artış görülmektedir (SGHM 2016). Uçak alımında artan uçak trafiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü uçak trafiğinin artması, tüketilen yakıtında artacağı anlamına gelmektedir. Yakıt tüketimi sonucu kirleticiler atmosfere salınmaktadır. Artan yakıt tüketiminin sonucu olarak atmosferde kirlilik yükü daha da artacağından, hava araçları alımı yapılırken, araçların oluşturacağı çevresel etkiler de bir parametre olarak değerlendirilmelidir (Altuntaş ve Karakoç 2011).



Şekil 3.1 Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün 2015 faaliyet raporunda yer alan yıllara ve yapılan seferlere göre uçak trafiği grafiği (SHGM 2016).

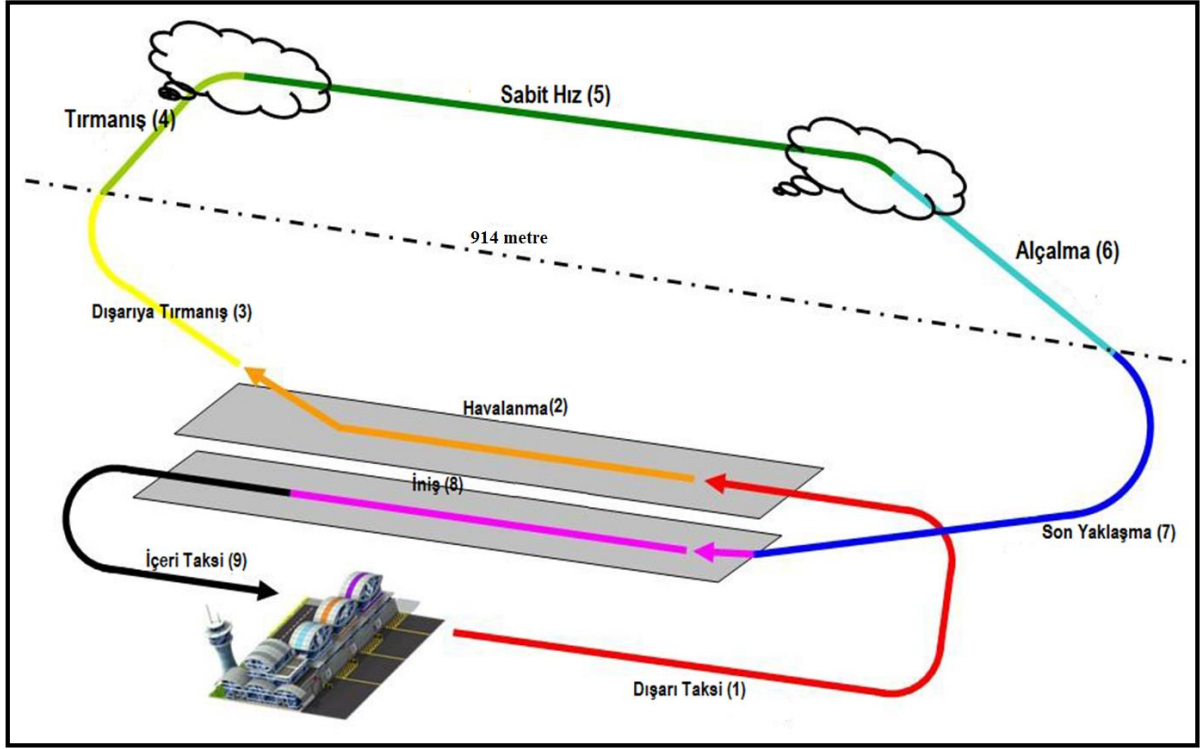
3.2 HAVACILIK KAVRAMLARI

Uçaklarda “kerosen” olarak bilinen jet yakıtı (halk dilinde “gaz yağı” olarak da bilinir) ve benzin kullanılmaktadır. Uçaklardaki emisyonlar bu yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Kerosen parlama noktasının 38 °C'nin altında olmadığı ve -47 °C'ye kadar donmadığı için jet uçaklarında kullanılmaktadır (URL-9 2016). Küçük uçaklarda ise benzin kullanılmaktadır. Benzinden kaynaklanan emisyonlar, tüketilen tüm yakıtın sadece %1'i kadardır. Bu kadar düşük bir oran emisyon hesaplamalarında ihmal edilmiştir.

Emisyonlar uçakların iniş, kalkış ve seyir faaliyetlerinde meydana gelmektedir. İngiliz literatüründe iniş/kalkış faaliyetine “The Landing/Take-Off (LTO)”, seyir faaliyetine de “Cruise” denilmektedir. Özellikle bu çalışmada iniş/kalkış faaliyeti. LTO olarak bahsedilecektir.

LTO, uçağın havalimanı civarında 914 m yüksekliğine kadar gerçekleştirdiği faaliyetleri içerir. Bunlar uçağın ilk çalışması, pist yönüne geçmesi (pist yönüne taksilemek), kalkış, kalkış sonrası tırmanışı, inişi ve apron yönüne geçmesi (apron yönüne taksilemek) olarak sayılabilir. Seyir hali ise uçağın yerden 914 m üzerindeki tüm faaliyetlerini içerir (Eggleston et al. 1996). Şekil 3.2'de uçak faaliyetlerinin isimlendirilmesi gösterilmektedir (Winther et al.

2014). Çizelge 3.1’de ise LTO’daki motor performans yüzdeleri ve süreleri verilmiştir (Schafer et al. 2003).



Şekil 3.2 Uçak yapmış olduğu faaliyetlerin isimlendirmesi (Winther et al. 2014).

Çizelge 3.1 LTO’daki motor performans yüzdeleri ve süreleri (Schafer et al. 2003).

LTO Faaliyeti	Motor Performansı (%)	Süresi (dakika)
Kalkış	100	0.7
Tırmanma	85	2.2
Yaklaşma	30	4.0
Taksi	7	26.0

3.3 HAVACILIK EMİSYONLARI

Uçaklar üst troposfer ve alt stratosfer olarak tanımlanan, yer yüzeyinden 9-13 km yükseklikte seyir yapmaktadır (URL-10 2016). Havacılık faaliyetleri sonucu oluşan emisyonlar önemli ölçüde hava kirliliği yaratmaktadırlar (Durmaz vd. 2007). Havacılık emisyonlarını etkileyen temel unsurlar şunlardır: Uçak faaliyetlerinin yoğunluğu ve hacmi, belirli kirleticilerin türü,

mekansal konsantrasyonu ve dağılımı, yakıt tüketimi, enerji verimliliği ve uçak filosunu yenileme oranı (Pham et al. 2010).

Uçakların faaliyetine göre emisyon kaynaklarını ikiye ayırabilir. Bunlar LTO döngüsündeki emisyonlar ve seyir emisyonlarıdır. HC ve CO dışındaki her türlü uçak emisyonunun %10'u havalimanındaki yer hareketlerinden ve LTO döngüsünden kaynaklanmaktadır. Geriye kalan %90'lık emisyon salınımı daha yüksek rakımlarda meydana gelmektedir. HC ve CO emisyonları ise %30'u alt rakımlarda, %70'i yüksek rakımlarda meydana gelmektedir (Maurice et al. 2006).

Uçak emisyon miktarlarının, üst troposfer ve alt stratosfer katmanlarına dağılım oranı, tropopozun (troposfer ile stratosfer arasındaki geçiş katmanı) karakterinden dolayı karmaşık bir hal almıştır. Bu yüzden uçak seyir irtifalarının ortalama tropopoz yükseklikleri ile karşılaştırılarak, toplam emisyonların %20-40'nın stratosferde salındığı tahmini yapılmaktadır (Pham et al. 2010).

Havacılık emisyonlarının etkileri literatürlerde uzun mesafeli hava kirliliği, ozon tabakası üzerindeki etkileri ve sera etkileri olarak karşımıza çıkmaktadır. Uzun mesafeli hava kirliliği, kirleticilerin, kaynağından daha uzak mesafelere taşınarak uzakta oluşturduğu etkilerdir. Uçaklar geçtikten sonra ardında bıraktığı kirleticilerden kısmen SO₂ ve çoğunlukla hava trafiğinden kaynaklanan NO_x'ler atmosferde su buharı ile tepkimeye girerek asidik yağmurlara neden olmaktadır. Bilindiği üzere asit yağmurlarının bitkilere, sudaki yaşayan hayvanlara ve yapılara zararları vardır. Uçağın ardında bıraktığı beyaz bulutlar Dünya'yı ısıtma eğilimindedir. Bu yoğunlaşma izleri hava taşıtlarından kaynaklanan su buharı ile tepkime halindedir. İçerisindeki kirleticiler hava taşıtının yaydığı kirleticiye göre değişir ve sera etkisini arttırmaktadır (Pham et al. 2010).

Uçakların her faaliyetinden farklı emisyonlar ve farklı değerler oluşmaktadır. Yapılan bir çalışmaya göre düşük güçte çalışan bir uçak yüksek miktarlarda CO, NO_x ve HC emisyonları vermektedir (Wasiuk et al. 2016). Bu konu ile ilgili yapılan diğer çalışmada, Song ve Shon (2012) Kore'de, Incheon Havalimanı (RKSI), Gimpo Havalimanı (RKSS), Gimhae Havalimanı (RKPK) ve Jeju Havalimanı (RKPC) olmak üzere dört büyük uluslararası havalimanı için atmosfer sınır tabakasında (havalimanı yükseltisindeki 1000 m yükseklik uçan uçakların) sera gazı emisyonlarını ve hava kirleticilerinin emisyonlarını

hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmı piste geçerken yapılan taksi hareketinde olduğu, bunun dışında emisyonun fazla olduğu durumların; kalkış sonrası tırmanış, iniş, apron yönüne taksilemek ve havalanmak olduğu belirtilmiştir. Ayrıca tırmanış ve iniş durumunda NO_x ve partikül madde (PM) emisyonlarının, pist yönüne taksileme durumunda ise CO ve uçucu organik bileşik (VOC) emisyonlarının fazla olduğu görülmüştür (Song ve Shon 2012).

Bu konu hakkında Türkiye'deki havalimanları için yapılan bir çalışmada da, yapılan hesaplar sonucunda LTO döngüleri için uçağın yakıt tüketimi yüzdeleri; kalkış, tırmanma, taksi ve iniş yüzdeleri sırasıyla %11, %29, %42 ve %18 olarak rapor edilmiştir. Uçak emisyonlarının dağılımı yapıldığında, LTO emisyonlarının en büyük kısmı %72 ile taksi hareketleri, ikinci büyük kısım %15 civarı ile tırmanma hareketine ait olduğu çıkmıştır. LTO döngülerinin %43'ünü oluşturan İstanbul Atatürk Havalimanı, %0.15 NO_x ve %0.13 CO ile toplam havalimanlarındaki emisyonların yarısını ürettiği görülmüştür. Yapılan hesaplamalara göre emisyonların en çok taksi hareketleri ile meydana geldiği bilinmektedir. Bu bilgiden yola çıkılarak tekrarlanan hesaplar sonucunda, taksi hareketinde 2 dakika (dk) azalma ile LTO emisyonunda %6 azalma olabileceği öngörülmüştür (Kesgin 2006).

3.4 HAVACILIKTAN KAYNAKLANAN EMİSYONLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Havacılıktan kaynaklanan emisyonlar, jet kerosen ile havacılık benzininin yakılmasından kaynaklanmaktadır. Uçak motoru emisyonları kabaca, %70'i CO₂, %30'dan daha az miktarda H₂O ve her biri %1'den az olan NO_x, CO, SO_x, NMVOC, partiküller ve tehlikeli hava kirleticileri de dahil olmak üzere diğer eser bileşenlerden oluşur. Modern gaz türbinlerinden ya çok az N₂O emisyonu oluşmakta veya hiç oluşmamaktadır. Motor rölantide çalışırken ve eski teknoloji motorları tarafından CH₄ salınabilir. Ancak yeni veriler, modern motorlardan çok az miktarda CH₄ salındığını veya hiç CH₄ salınmadığını göstermektedir (Maurice et al. 2006). Uçaklardan kaynaklanan CO₂, H₂O, NO_x, CO emisyonu hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

3.4.1 Karbon dioksit (CO₂)

Uçaklardan kaynaklanan emisyonlarda en fazla salınan kirletici CO₂'dir. Tüketilen kg yakıt başına 3.15 kg CO₂ emisyonu oluşmaktadır (URL-10 2016). Uçaklardan kaynaklanan CO₂,

fotokimyasal kararlılığı nedeniyle doğrudan ozon fotokimyasına katılmaz. CO₂ yer yüzeyinden yayılan kızıl ötesi ışınları içine hapsediği için sera etkisini arttırmaktadır (Brasseur et al. 1998). Uçak yakıtından kaynaklı CO₂ emisyonunda yıllık 0.05 ppm'lik artış, IPCC' nin yaptığı hesaplara göre iklim duyarlılığı göz önünde alındığında 0.0025-0.009 °C aralığında sıcaklık artışına sebep olduğu tahmini yapılmıştır (Friedly 1997). Mevcut dünya çapındaki uçak filosu, atmosfere salınan CO₂ emisyonunun sadece %1.5-2'sini üretmektedir (Brasseur et al. 1998).

Sausen ve Schumann (2000), NO_x ve CO₂ emisyon verilerini kullanarak yaptıkları bir çalışmada 1995 yılına kadar olan uçak faaliyetlerinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının, toplam küresel CO₂ emisyonunun %1.7'si düzeyinde olduğu tahmininde bulunmuşlardır. 2050 ve 2100 yılları için yaptıkları senaryolara göre de uçaklardan kaynaklanan CO₂ emisyonunun sırasıyla %2.9 ve %3.2 olarak artabileceği görüşündedirler. Ayrıca oluşturduğu bu senaryolarda IPCC'nin Havacılık ve Küresel Atmosfer Raporunda da referans olarak kullanılmaktadır. Schumann, iklim üzerinde havacılıktan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının etkisinin diğer antropojenik kaynaklı CO₂ emisyonlarına kıyasla daha az olduğu açıklamasını yapmıştır. Ayrıca havacılıktan kaynaklanan CO₂ emisyonunun, küresel ortalama yüzey sıcaklığı ve ortalama deniz seviyesini yükseltmesi yönündeki tepkisinin yavaş olduğu görüşündedirler. 21. yüzyılda O₃ değişiminin CO₂ emisyonlarına kıyasla daha fazla olacağını düşünülmektedir. Eğer NO_x emisyonlarında azalma olursa, bu azalmanın küçük miktarda CO₂ emisyonunu arttıracak fakat bunun havacılığın iklim üzerindeki etkisini azaltacağı tahmininde bulunmaktadır (Sausen and Schumann 2000).

Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından yapılan bir çalışmada, sivil havacılığın yakın gelecekte nasıl bir hal alacağı incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, gelecekte oluşacak yakıt talebi ve alternatif yakıtların (biyoyakıt) kullanımını araştırılmıştır. Ekonomik büyüme, yakıt fiyatları, yük faktörleri, havalimanı kapasitesi, biyoyakıt ticareti gibi farklı varsayımlar kullanarak senaryolar tanımlamışlardır. Avrupa'daki kurumlardan alınan gerçek uçak bilgilerinde 2010 yılı baz alınarak 2030 yılına kadar her yıl için havacılıkta büyüme ve buna bağlı olarak yakıt talebi tahmini yapılmıştır. Sonuç olarak senaryolarda CO₂ miktarının yıllık olarak %1 ile %4 olarak artacağı tahmini yapılmıştır (Kousoulidou et al. 2006).

3.4.2 Su Buharı (H₂O)

Uçak yakıtından kaynaklanan H₂O emisyonu 1.26 kg/kg yakıttır (URL-10 2016). Su buharı doğrudan sera gazıdır. Uçak yakıtından kaynaklanan ince bulut şekline görünen su buharı troposferin alt seviyelerindeki ısınmaya neden olurken daha yüksek rakımlardaki kalın bulut şeklinde görünen su buharı soğumaya neden olmaktadır. Artan su buharı, bulut örtüsünü etkilemekte ve atmosferin yüzeyinde ısınmaya sebep olmaktadır (Wahner et al. 1994, Brasseur et al. 1998).

Uçaktan gelen su buharı miktarı güvenilir bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Fakat uçakların uçtuğu tropopoz yakınındaki suyun atmosfere etkisi iyi anlaşılamamıştır (Miake-Lye 2005). Yüksek hızlı uçaklar stratosferik su buharını 0.8 ppm kadar, subsonik (sesten daha yavaş) uçaklarında su buharını 0.02 ppm kadar arttırdığı tahmini yapılmaktadır (Wahner et al. 1994). Su buharının 1 ppm artışı 0.02 °C'lık artış yaptığını düşünürsek, 0.02 ppm'lik su buharının etkisinin düşük olduğu tahmin edilmektedir (Wahner et al. 1994). Farklı bir çalışmada, su buharının CO₂ ile aynı sıcaklık değişimlerinin etkileri karşılaştırıldığında, CO₂'in yüksek enlemlerde yüzey sıcaklığını arttırdığı görülmüş. H₂O'nun üst troposfer katmanlarında etkisinin az olduğu tahmini yapılmıştır (Friedly 1997). Uçak emisyonlarındaki su buharı, stratosferde polar bulutların oluşum sıklığını arttırdığı düşünülmektedir (Brasseur et al. 1998). Su buharının kalıcılığı troposferde kısa, stratosferde uzun olduğu için yapılan çalışmalara göre su buharı emisyonlarının tahmini doğru olsa da etkisinin değerlendirilmesi hala yetersiz kalmaktadır (Miake-Lye 2005).

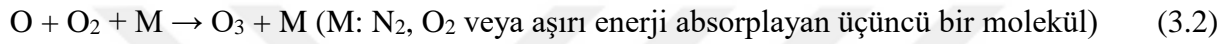
3.4.3 Azot Oksit (NO_x)

Uçaklardan kaynaklanan emisyonlar içerisinde CO₂ ve H₂O emisyonundan sonra en çok miktarda salınan NO_x emisyonlarıdır. Tüketilen yakıtın kg başına 5 ile 25 gram (gr) arası NO₂ emisyonu oluşmaktadır. NO_x emisyonları, üst troposferde ve alt stratosferdeki ozon kimyasında aktif rol almaktadır (URL-10 2016).

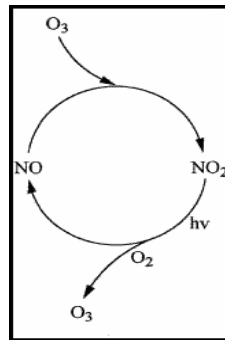
Üst troposfer ve alt stratosferde çalışan ses altı ve ses üstü hava taşıtlarından meydana gelen NO_x'ler için endişeler 1977 yılından beri gündemdir. Çünkü NO_x emisyonları ozon seviyesinde değişikliğe neden olmaktadır. Havacılıkla ilgili ozon değişikliğinin belirlenmesi, Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization - WMO) ve Birleşmiş

Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme - UNEP)'nin 1995 yılına kadar süren araştırmalarına rağmen belirsizliğini korumaktaydı. 1995 yılından sonra uçaklardan kaynaklanan NO_x emisyon envanterlerinin geliştirilmesi, yapılan kimyasal, kinetik ve fotokimyasal değerlendirmelerin güncellenmesi, uçakların ardında bıraktığı bulutlar ile ilgili kimyasal çalışmalar ve üç boyutlu modelleme araçlarının geliştirilmesi sonucunda uçak emisyonlarının ozon tabakasına olan etkisi daha iyi anlaşılmıştır (URL-10 2016).

Denklem 3.1, 3.2, 3.3 ile troposferik O₃ oluşumunda NO_x'lerin etkisi gösterilmektedir.



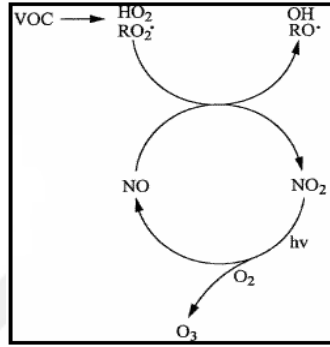
Denklem 3.1'de görülen fotokimyasal reaksiyonun gerçekleşebilmesi için 300-390 nanometre (nm) ışık gerekmektedir. Yeterli ışık enerjisi ile NO₂, NO ve O (oksijen atomu) olarak ayrılmaktadır. Denklem 3.2'de aşırı enerji absorplanması ile oluşan kararlı haldeki O₃, Denklem 3.3'de olduğu gibi NO ile tepkimeye girerek NO₂'yi oluşturur. Bu döngü Şekil 3.3'de olduğu gibi sürekli olarak devam etmektedir ve O₃ konsantrasyonu belli bir süre sonra sabit bir değerde kalmaktadır (Çetin vd. 2008).



Şekil 3.3 NO-NO₂ dönüşümü ve O₃ oluşumunda yer alan reaksiyonlar (Atkinson 2000).

Denklem 3.3'de harcanan NO₂'ler, NO'lerin uçucu organik bileşenler (VOC; Hidroperoksi radikali (HO₂) veya organik peroksi radikali (RO₂)) ile reaksiyonları sonucu tekrar oluşur. Denklem 3.4 ve Denklem 3.5'de NO₂ oluşum reaksiyonları verilmektedir. Şekil 3.4'de VOC

varlığında NO-NO₂-O₃ döngüsünü gösterilmektedir (Atkinson, 2000). Denklem 3.4 ve 3.5'in gerçekleşmesi sonucunda O₃ yıkımında rol oynayan NO tüketilecek, Denklem 3.3'teki reaksiyon gerçekleşmeyecek ve O₃ konsantrasyonu artacaktır.



Şekil 3.4 VOC (VOC: RO₂ veya HO₂) varlığında NO-NO₂-O₃ döngüsü (Atkinson 2000).

Havacılıktan kaynaklanan NO_x emisyonları, antropojenik kaynaklı NO_x emisyonlarının %2'sini oluşturmaktadır. Fakat troposferdeki havacılık emisyonundan (subsonik uçuşların olduğu katman) gelen NO_x'ler de yer seviyesi ozon konsantrasyonunun artmasında rol alırlar. Troposferik ozon zararlı bir oksidandır. Ayrıca, troposferdeki sera gazlarının oluşmasına sebep olan bir gaz olarak düşünülmektedir. Uçaklardan kaynaklı NO_x emisyonları üst troposferde daha fazladır. Özellikle kış aylarında Kuzey Yarımküre'deki NO_x'in baskın kaynağı uçaklar olarak belirlenmiştir. Stratosferdeki yüksek uçuşlarda (sübsonik (sesten daha hızlı) uçuşların olduğu katman) NO_x konsantrasyonlarındaki artış, ozon tabakasında incelemelere neden olmuştur. NO_x'lerin daha fazla atmosfere verildiği zaman dilimi, uçakların uzun menzilli seferlerinde yüksek troposfer ve alçak stratosfer katmanı arasında seyir durumlarında gerçekleşir (Pham et al. 2010).

Bu konu hakkında yapılan bir çalışmada Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika kıtaları için uçaklardaki 2005-2011 yılındaki yakıt tüketim bilgileri ile CO₂, CO, H₂O, HC, NO_x ve kükürt oksitler (SO_x)'lerin emisyon envanterleri incelenmiştir. CO₂, H₂O, NO_x, SO_x emisyonları ve yakıt tüketiminin yıllık %2-3 arası arttığı görülmüştür. Bununla birlikte uçak motorlarında ve

yakıt içeriğinde yapılan iyileştirmeler sonucu olarak da CO ve HC emisyonlarında sırayla %1.6 ve %8.7 oranında azalma olduğu görülmüştür. Bu kıtalarda 2005-2011 yılları içerisinde toplam olarak %50 CO₂ ve %45 NO_x emisyonu salındığı ve NO_x emisyonlarının %90'nının dağıldığı tahmini yapılmıştır. NO_x konsantrasyonlarındaki değişimin bölgesel ve küresel olarak heterojen bir dağılım gösterdiği görülmüştür. Özellikle 0-30° kuzey enlemlerinde NO_x konsantrasyonlarında artma eğiliminin olduğu, 30-60° kuzey enlemlerinde ise NO_x konsantrasyonlarında azalma eğiliminin olduğu açıklanmıştır. Uçakların yıllık kalkış sayısındaki ortalama artışın Asya kıtasında %8, Avrupa kıtasında %1 ve Kuzey Amerika kıtasında %1.9 olduğu tahmin edilmektedir. Asya kıtasındaki havacılığın daha hızlı bir şekilde artmasının sonucu olarak uçaklardan gelen NO_x miktarlarında artışın da diğer kıtalara göre daha fazla olduğu tahmini yapılmıştır (Wasiuk 2016).

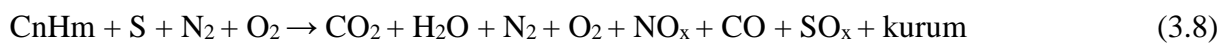
3.4.4 Karbon Monoksit (CO)

Uçaklarda tüketilen yakıt başına CO miktarı ses üstü uçaklar için 1-2 gr, ses altı uçakları için 1-10 gr'dır. CO' de NO_x gibi troposferik ozon üretimi ve yıkımında önemli bir yeri vardır (URL-10 2016). Denklem 3.6'daki ozon üretimi, ortamda yüksek oranda NO_x bulunması durumunda gerçekleşmektedir. Denklem 3.7'deki O₃ yıkımı ise ortamda düşük oranda NO_x'lerin bulunması durumunda gerçekleşmektedir.



3.4.5 Aerosoller

Uçaklardan meydana gelen parçacık emisyonları iki nedenden kaynaklanmaktadır. Birincisi direk olarak egzozdan gelen siyah karbon (kurumlar), ikincisi ise uçağın yakınlarındaki sülfür dioksit dolaylı olarak sülfürik asit aerosollerine dönüşmesidir (Anderson et al. 1997). Denklem 3.8'de jet yakıtın yanmasıyla oluşan reaksiyon gösterilmektedir (URL-11 2016).



Yakıt: Benzin (C_nH_m) + kükürt atomu (S)

Hava: N₂ + O₂

İdeal yanma ürünleri: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 + \text{O}_2$

İdeal olmayan yanma ürünleri: $\text{NO}_x + \text{CO} + \text{SO}_x + \text{kurum}$

Aerosoller atmosfer katmanında üst troposfer ve alt stratosferde meydana gelmektedirler. Stratosferik aerosolün baskın bileşeni sülfat, küçük bileşenleri de kurumlar ve metallerdir. Troposferik aerosollerin bileşimi, özellikle yüzeyin yakınında, amonyum, mineraller, toz, deniz tuzu ve organik partikülleri içerir. Üst troposferde aerosol parçacıklarının kalış süresi, birkaç günden 10 ila 15 gün arasında değişmektedir. Stratosferde ise daha yüksek kalıcılığı bulunmaktadır. Troposferik parçacıklar stratosferdeki parçacıklardan daha büyüktür (URL-12 2017).

Havacılıkta aerosoller, doğal süreçler onları uzaklaştırmadan önce bir bölgede birikir. Artan aerosol, aerosol bileşimine bağlı olarak atmosferi ısınmaya veya soğumaya sebep olur ve bu atmosferdeki bulutların oluşumunu etkiler. Havacılıktan gelen aerosoller, diğer kaynaklardan gelen toplam aerosoller ile karşılaştırıldığında, havacılık kaynaklı aerosollerin kütleli miktarının çok küçük olduğu belirlenmiştir. Fakat aerosol kütleli aksine havacılıkta kurum aerosollerinin sayısındaki artış diğer doğal ve beşeri kaynaklara kıyasla belirgindir. Yapılan çalışmalar da havacılığın üst atmosferin büyük bölümlerinde, özellikle de uçuş koridorlarında partikül sayısını arttırdığını göstermektedir. Ayrıca, bu çalışmalar, kurum aerosol sayısındaki artışların, bulutların oluşum biçimini ve bulutların optik özelliklerini potansiyel olarak değiştirebileceğini göstermektedir (ICAO 2007).

3.5 HAVACILIKTA EMİSYON ENVANTERİ

Havacılıkta emisyon envanteri IPCC'nin kılavuzuna göre hazırlanmaktadır. IPCC, iklim değişikliği ile ilgili bilimsel değerlendirmeleri yapan bir kuruluştur. 1988 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO - World Meteorological Organization) ile Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP - United Nations Environment Programme) tarafından kurulmuştur. IPCC'nin 1990 yılındaki ilk raporu iklim değişikliğinin üstesinden gelmek için uluslararası anlaşmaya zemin hazırlamıştır. Böylelikle IPCC'nin iklim ile ilgili değerlendirmeleri Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change) 'nin temelini oluşturmaktadır. Bu sözleşme 195 ülke tarafından imzalanmış evrensel bir sözleşmedir. Üye ülkelerin temsilcileri ile Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelleri yapılmaktadır. Panel sonuçları rapor olarak

sunulmaktadır. IPCC raporları, kapsamlı ve objektif olmaları, açık ve şeffaf bir şekilde ifade edilmesi için binlerce uzman tarafından incelenmektedir (URL-13 2017).

Raporların ilki 1990 yılında, ikincisi 1995, üçüncüsü 2001, dördüncüsü 2007 ve beşinci rapor da 2014 yılında çıkmıştır. Altıncı raporun 2022 yılında tamamlanması beklenmektedir. Bu raporlar Dünya genelinde üretilen, iklim değişikliği ile ilgili en kapsamlı bilimsel değerlendirmelerdir. Ülkelerin iklim ile ilgili her türlü sorunlarına cevap vermektedir (URL-14 2017).

IPCC kuralları ilk olarak 1994 yılında kabul edildi ve 1995 yılında yayınlanmıştır. 1996 yılında da Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Rehberi olarak kitap haline getirilmiştir. Bu rehberde, antropojenik emisyon kaynaklarının tahmini ve sera gazlarını azaltarak giderilmesini sağlayacak metodolojiler yer almaktadır. UNFCCC ülkeleri ile 1997 yılında Kyoto'da yapılan protokolde, 1996 yılında yayınlanan Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Kılavuzu'ndaki ilkeler yasal bağlayıcı kabul edilmiştir (URL-15 2017). (UNFCCC sözleşmesinden farklı olarak Kyoto protokolünde, sanayi olarak gelişmiş ülkeler için sera gazı salınımlarına sınırlama getirilmiştir. Ayrıca, Türkiye 2004 yılında UNFCCC ülkelerine 184. taraf olarak katılmış ve 2009 yılında Kyoto Protokolüne taraf olmuştur (URL-15 2017).

1996 yılında yayınlanan Ulusal Seragazı Emisyon Envanteri Rehberi 3 ciltten oluşmaktadır. Birinci cilt, emisyon envanteri hazırlamak için verilerin nasıl temin edileceği, verilerin nasıl değerlendirileceği, değerlendirme sonuçlarının nasıl raporlanacağı hakkında teorik bilgiler içermektedir. İkinci cilt hesaplamaları yaparken kullanılacak denklemleri ve raporlama yaparken kullanılacak çizelgeleri vermektedir. Üçüncü ciltte ülkelerin emisyon hesaplamaları için elde edemedikleri veriler yerine referans alabilecekleri değerleri içeren referans kitabıdır (URL-16 2017). Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Rehberi; enerji, endüstriyel işlemler, çözücüler (solvent) ve diğer ürünlerin kullanımı, tarım, ormancılık ve arazi kullanımı ile atıklar olmak üzere 6 ana başlık içermektedir (URL-17 2017).

1996 yılındaki kılavuz 2006 yılında UNFCCC Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü ile ilgili çalışmaları dikkate alınarak yenilenmiştir (URL-18 2017). Yenilenen 2006 Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Rehberinin anlaşılabilirliğini arttırmak için 5 ciltten oluşturulmuştur. Birinci ciltte genel olarak raporlamadan bahsedilmiş, ikinci cilt enerji, üçüncü cilt sanayi

prosesleri ve ürün kullanımı, dördüncü cilt tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımları ve beşinci cilt atık konularından oluşmaktadır (URL-19 2017).

Havacılıktan kaynaklanan emisyonların hesaplanması için 2006 yılında yayınlanan ve 2010 yılında güncellenen Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Rehberinin ikinci cildinde yer alan 'Mobil Yanma' alt başlığındaki 'Sivil Havacılık' konusundan yararlanılmaktadır (URL-20 2017).

Havacılık emisyonlarının hesaplaması için Tier1, Tier2 ve Tier3 olmak üzere 3 yöntem sunulmuştur. Bu yöntemlerden Tier1 ve Tier2'de yakıt tüketimi verileri kullanılmaktadır. Tier1 yönteminde hesaplamalar yakıt bazlı olarak basit bir hesaplama ile kabaca bir sonuç verir, sadece havacılık benzini kullanılan uçaklar için bu yöntemin kullanılması önerilir. Tier2 yöntemi, yakıt verileri ile birlikte LTO döngüleri de kullanılarak daha ayrıntılı sonuç vermektedir. Tier3 yönteminde ise tek tek uçuş verileri (iniş, kalkış, seyir, taksit) kullanıldığı için diğer yöntemlere göre daha ayrıntılı tahminler elde edilmektedir (Maurice et al. 2006).

Jet yakıtı kullanılan uçaklar için önerilen hesaplama yöntemi Tier2'dir. Tier2 yöntemi bu çalışmada da kullanılan yöntemdir. Tier2 yönteminde emisyon hesapları LTO emisyonları (914 m altı) ve seyir emisyonları (914 m üstü) olarak hesaplanır. Bu yöntem için hesaplamaları yapılacak hava araçlarının uçak tipi ve LTO sayıları bilinmesi gerekmektedir. İç hat ve dış hat uçuşları için hesaplamalar ayrı ayrı yapılır. Bu çalışmada sadece iç hat ve aktarmasız uçuşlar kullanılmıştır. Tier2 yöntemi için kullanılan denklemler 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 ve 3.13 olarak gösterilmiştir (Maurice et al. 2006).

$$E = A \times EF \quad (3.9)$$

E: Emisyon miktarı.

A: Aktivite istatistiği.

EF: Emisyon faktörü.

Denklem 3.9 emisyon miktarı hesaplamalarında kullanılan genel bir denklemdir. Bu denklemdeki emisyon faktörü, kirletici kaynağından atmosfere salınan birim aktivitedeki kirletici miktarını belirtmek için kullanılır ve kirletici kütlesinin birim aktiviteye bölümü ile ifade edilir. Örneğin; kg SO₂ / ton üretim gibi (Zeydan 2008).

$$\text{LTO Emisyonu} = \text{LTO Sayısı} \times \text{LTO için EF} \quad (3.10)$$

$$\text{LTO Yakıt Tüketimi} = \text{LTO Sayısı} \times \text{LTO başına Tüketilen Yakıt} \quad (3.11)$$

$$\text{Seyir Emisyonu} = (\text{Toplam Yakıt Tüketimi} - \text{LTO Yakıt Tüketimi}) \times \text{Seyir için EF} \quad (3.12)$$

$$\text{Toplam Emisyon} = \text{LTO Emisyonu} + \text{Seyir Emisyonu} \quad (3.13)$$

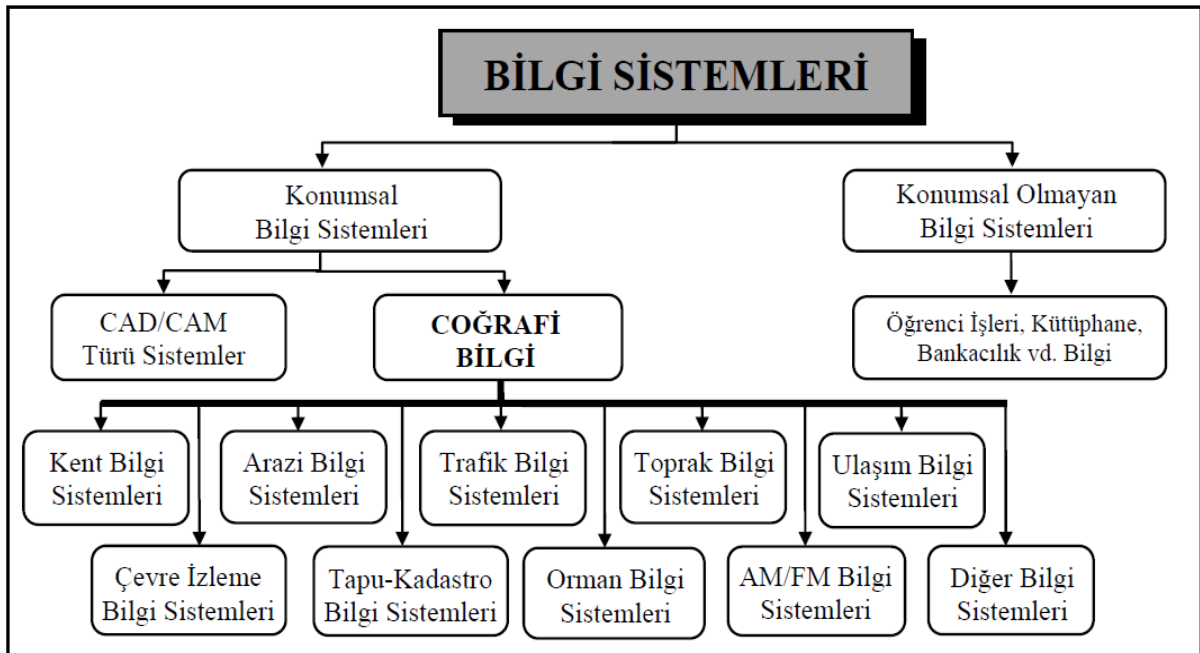
Denklemlerde kullanılan emisyon faktörleri, IPCC kılavuzuna göre Avrupa Çevre Ajansının yayınladığı Emisyon Envanter Kitapçığından alınmıştır. EMEP/EEA (European Monitoring and Evaluation Programme – Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı / European Environment Agency – Avrupa Çevre Ajansı) Emisyon Envanter Rehberi, Avrupa Birliği üyesi ve aday ülkeler için çeşitli direktiflere uygun olarak hazırlanmış, emisyon hesaplamalarında kullanılan rehber dokümandır. Emisyon faktörleri seçiminde filo yaşı önemli bir parametredir. Emisyon değerlerinin hesaplanması Bölüm 5’de verilmiştir.



BÖLÜM 4

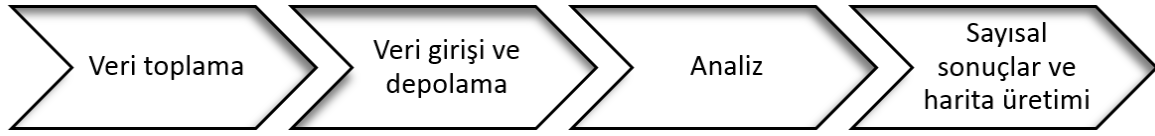
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

Gelişmiş ve gelişmeye devam eden bilgi teknolojilerinden dolayı, bilgilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve doğru bilginin, doğru yere, zamanında, hızlı, güncel, tam ve bir bütün olarak kullanıma sunulması önemlidir. Bunu da bilgi sistemleri ile sağlamak mümkündür. Bilgi sistemleri konumsal olan ve konumsal olmayan olarak iki grupta inceleyebiliriz. Bilgi sistemlerinin sınıflandırılması Şekil 4.1 verilmiştir. Konumsal olmayan bilgi sistemleri; otel ve uçak rezervasyonları gibi konuma bağlı olmayan bilgiler üzerinde işlemlerin yapıldığı bilgi sistemleridir. Konumsal bilgi sistemlerinde verilerin konumu bellidir ve bununla beraber konumu belirli verilerin yapıları, özellikleri ve ilişkileri hakkında bilgiler içeren konumsal olmayan bilgiler de bulunmaktadır. Bu sistemlerde konumu belli olan verilerin farklı amaçlarda kullanılmak üzere toplanması, modellenmesi ve analizlerinin yapılması mümkündür. Elektrik, su, kanalizasyon ve doğalgaz şebekelerindeki bakım, onarım ve yönetimini sağlayan alt yapı sistemleri, konumsal bilgi sistemlerine örnektir (Tecim 1999).



Şekil 4.1 Bilgi sistemlerinin sınıflandırılması (Tecim 1999).

Konumsal verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi ve kullanıma sunulması için Coğrafi Bilgi Sistemleri bilim dalı geliştirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Türkçe kısaltması 'CBS'. İngilizce kısaltması GIS (Geographical Information Systems) olarak ifade edilmektedir. Coğrafi bilgi sistemleri, coğrafi koordinatları referans alan yeryüzüne ait bilgilerin belirli bir amaç için toplamaya, bilgisayar ortamında depolamaya, analiz etmeye ve görüntülemeye olanak sağlamaktadır (Tecim 1999). CBS'nin çalışma prensibi temel hatları ile Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin çalışma organizasyonu (Turoğlu 2011).

CBS'nin veri kaynakları, yer yüzeyindeki iklim, bitki örtüsü, şehirler, plakalar, nüfus bilgileri, adresler, yollar, köprüler, şehir ve ülke sınırları, deniz ve hava yolu güzergahları vb. olarak verilebilir. Bu kaynaklar nokta, çizgi (veya çoklu çizgi) ve poligon gibi şekiller ile gösterilir. Vektörel veri tabanı bu şekillere göre oluşturulur. Şehirde bulunan bankalar, okullar, elektrik direkleri gibi tek bir olguyu belirten veriler nokta veri olarak ifade edilir. Yollar, su ve doğalgaz şebekeleri, nehirler, telefon hatları gibi birçok noktanın birleşmesiyle oluşan veriler çizgi verileri olarak ifade edilir. Göller, ormanlar, elektrik santralının dağıtım yaptığı bölgeler gibi noktaların birleşmesi ile ifade edilen veriler poligon verileri olarak ifade edilir. Bu bilgilerin hepsi CBS yazılımı ile birbirleri ile ilişkilendirilebilir, analiz edilebilirler. CBS ile raster veri oluşturmak da mümkündür. Görüntüleri ızgaralara (gridlere) böldüğümüzde, her bir hücre sahip olduğu görüntünün öznitelik bilgilerini depolayıp, sayısallaştırması ile raster veri seti oluşturulup analiz edilebilir (Turoğlu 2011). Örneğin, belediyenin kayıtlarına göre hazırlanmış olan arazi kullanım verileri, her kilometre kareye düşen toprak türlerini belirten veriler ile birleştirilmesi işlemi raster veri modeli ile yapılmaktadır.

Günümüzde hazırlanan zamansal ve mekansal hava kirliliği emisyon envanterlerinin de coğrafi bilgi sistemlerinde analizi yapılmaktadır. Böylelikle hava kirlleticilerin oluşum yerleri, yayılımı, miktarına göre kontrolü sağlanmaktadır. Bu konu ile ilgili örnek olarak Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve TÜBİTAK iş birliği ile 2013 yılında

hazırladığı “Ulusal Hava Kirliliği Emisyon Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi Projesi” verilebilir. Projenin amacı pilot bölge olarak seçilen Marmara bölgesinde emisyon envanteri oluşturulması ve envanter sonuçlarını zamansal ve mekânsal olarak dağılımını gösteren coğrafi tabanlı web-portal uygulaması geliştirmektir. Bu kapsamda CBS temelini oluşturacak bilgilere ihtiyaç vardır. Bu bilgiler; yakıt tüketimi (yakıt türüne karşılık, tüketilen birim miktardaki yakıt bilgisi), bina bilgisi (il, ilçe, mahalle, yol vb.), Organize Sanayi Bölgesi bilgileri (bu bölge içerisindeki sektörler, sektör bazında tükettikleri yakıt bilgisi, sektör bazında üretilen ürün bilgisi), katı atık bilgisi (depolama tipi, atık miktarı, atık karakterizasyonu), hafriyat alanı bilgisi (hafriyat alanı kapasitesi), maden ocakları bilgisi (maden ocağı kapasitesi ve tipi), benzin istasyonları bilgisi (satılan yakıt tipine bağlı yakıt miktarı), dolun tesisleri bilgisi (depolanan yakıt kapasitesi, depo-tank sayısı, yakıt tipi ve yakıt miktarı), atık su arıtma tesisleri bilgisi (atıksu arıtma tesisi tipi, kapasitesi), trafik verileri (araç tipi, araç sayısı, araç model yılı, yol tipi, ortalama hız, yolun şerit sayısı), iş makineleri bilgisi (araç sayısı ve araç tipi)’dir. Proje sonucunda kaynak bilgilerin bir araya getirilmesi ile hava kirleticisi emisyonların envanter hesapları yapılacak, hesaplanan emisyonlar hava kalitesi modelinde girdi olarak kullanılacaktır. Modelleme sonucunda kirliliğin mekansal dağılım haritaları web üzerinden veri girişleri yapılarak izlenebilecektir (URL-21, URL-22 ve URL-23 2016).

Yapılan başka bir çalışmada, karayollarında hareket halindeki taşıtların çevreye yaydıkları emisyonların analizi için CBS’de arayüzler oluşturulmuştur. Emisyon ve mekan bilgileri için 30 farklı markadaki araçların egzozuna seyir emisyon ölçüm cihazları ve araçlara gezici GPS aletleri monte edilmiştir. Araçlar sadece İstanbul şehri içerisinde kullanılmıştır. Elde edilen veriler düzenlenerek Visual Basic dili yardımıyla bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS programına aktarılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda grafik çizimi arayüzü, ortalama gaz miktarı ölçüm arayüzü oluşturulmuştur. Grafik çizimi arayüzü taşıtların zamana göre CO, CO₂ ve NO_x emisyonlarının değişimlerini grafik olarak vermektedir. Ortalama gaz ölçüm arayüzü ile seçilen kirleticinin. seçilen güzergahlara göre ortalama emisyon değeri hesaplanabilmektedir (Okten ve Gümüşay 2009).

Bir başka çalışmada da, Ankara’da bir bölge içerisinde sanayi, evsel ısınma ve motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar hesaplanmış ve bu emisyonlar coğrafi bilgi sistemlerine aktarılarak çalışmanın yapıldığı arazilere emisyonlar dağıtılmıştır. Bu işlem için öncelikle sanayi, ısınma ve motorlu taşıtların emisyon envanterler verileri ayrı

katmanlarda gösterilmiş ve oluşturulan veri tabanının modelleme çalışmalarında da kullanılabilmesi için her katman gridlere bölünmüştür. Daha sonra bu katmanlar birleştirilerek tek katman haline getirilmiştir. Her kirleticinin türleri göz önünde bulundurularak Gauss dağılım modeli oluşturulmuştur. Daha sonra sanayiden kaynaklanan kirleticilerin dağılımı 30×30 m çözünürlükte emisyon dağılımı haritaları ile gösterilmiştir. Isınmadan kaynaklanan emisyonlar için yerleşim birimlerinin alan ve yoğunlukları yerine yol yoğunluğu kullanılmıştır ve bunların birbirleri ile orantılı olduğu kabulü yapmışlardır. Oluşturulan 300×300 m grid hücrelerine düşen yol oranına göre şehirleşmenin yoğunluğu sınıflandırılarak konutlardan kaynaklanan emisyonların dağılımı haritası oluşturulmuştur. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyon katmanı için haritadaki yollar, özniteliğine (otoyol, yan yol, mahalle) göre emisyon katsayıları ile etiketlenmiş ve etiket bilgisi ortalama bir aracın emisyon değeri ile çarpılıp yol katmanı için veri tabanı oluşturulmuştur. Yol katmanı 3×3km'lik gauss çerçevesi ile filtrelenerek motorlu araç kaynaklı emisyon dağılım haritaları oluşturulmuştur (Bağış vd. 2015).

Amanos Ormanı ve çevresinde Şubat, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında belirli günlerin her saati için yapılan bir başka çalışmada. USGS (United States Geological Survey-Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Merkezi) bitki örtüsü veri tabanı kullanılarak, bitki örtüsü çeşitlerinden kaynaklanan biyojenik uçucu organik birleşiklerin (BVOC) emisyon oranları, CBS ile mevsimlere dağılımı yapılmıştır. USGS'nin güncel veri setleri ile CBS'de 12 çeşit bitki örtüsü belirlenmiş ve buralarda mevcut olan bazı bitki örtülerinin yaprak yoğunlukları bulunmuştur. Yaprak yoğunluğu tespit edilemeyen bitki örtüleri için uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. BVOC emisyonları sıcaklık ve ışık ile değişmektedir ve hesaplara sadece sıcaklık değerleri eklenecektir. BVOC'nin sıcaklık ilişkisi için ölçümlerin yapıldığı günün sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Sıcaklık değişimleri için IPCC'nin veri setleri baz alınmıştır. IPCC'nin veri setlerinde minimum ve maksimum sıcaklık saatleri verilmiş, ara saatlerdeki sıcaklık değişimi için minimum ve maksimum sıcaklık ile doğru orantılı olarak değiştiği ifade edilmiştir. Coğrafi bilgi sistemlerine minimum, maksimum sıcaklık verileri ile tüm çalışma alanları için ara saatlerdeki sıcaklığı da içeren raster veri üretilmiştir. Bitki örtüsü çeşitlerinin emisyon hesapları da katman olarak eklenmiştir. Sonuçlar CBS kullanılarak hem görsel hem de sayısal olarak ifade edildiğinde, BVOC emisyonu, yazın Temmuz ayında maksimum değerlere ulaştığı, kışın Şubat ayında ise minimum değerlerde olduğu görülmüştür (Can vd. 2014).

CBS, altyapı ve üst yapı sistemlerinin planlanması ve uygulanmasında, katı atık toplayan araçların güzergahlarının belirlenmesinde, çevre kirliliğinden etkilenen ve etkilenecek alanların belirlenmesinde ve ayrıca literatürlerde de görüldüğü üzere emisyon envanterlerinin analizinde de kullanılmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinde ayrıca harita altlıkları kullanılmaktadır. Böylelikle konuma bağlı olan ve olmayan veriler ilişkilendirip coğrafi ve sosyo-ekonomik analizler yapmak mümkün olmaktadır. Sonuç olarak CBS, oldukça fazla sayıda ve çeşitte olan verilerin kullanıcılara en uygun bir şekilde bilgi verebilmesi için organize edilip, yönetildikten sonra istenilen haritalar elde edilmektedir (Tecim 1999).





BÖLÜM 5

ÇALIŞMA ALANI VE VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

5.1 ÇALIŞMA ALANI

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün 2016 yılının Nisan ayını da kapsayan 2015 Genel Faaliyet Raporunda iç hat uçuş bilgileri içerisinde, uçuşların 7 noktadan 55 noktaya yapıldığı bilgisi yer almaktadır (SHGM 2016). Ayrıntılı araştırma yapıldığında iç hat seferlerinin yapıldığı 46 nokta bulunmuştur. Sefer yapılmayan havalimanları şu şekildedir:

- Aydın Çıldır Havalimanı
- Balıkesir Merkez Havalimanı
- Bingöl Havalimanı
- Çanakkale Gökçeada Havalimanı
- Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı
- Hakkari Yüksekova Selahaddin Eyyubi Havalimanı
- Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı (Hergün uçuş yok.)
- Uşak Havalimanı
- Zonguldak Çaycuma Havalimanı

Çalışmadaki havalimanlarına ait seferlerde aktarmasız uçuşlar kullanılmıştır. Aktarmasız uçuş yapan havalimanları Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği'nde (IATA -International Air Transport Association) kullanılan kodları ile Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Ayrıca havalimanları ve bulunduğu koordinatları tablo halinde Ek A'da verilmiştir.

Çizelge 5.1 Türkiye’deki aktarmasız iç hat seferi yapan havalimanları.

IATAa	Havalimanı İsmi	IATA	Havalimanı İsmi
ADA	Adana Havalimanı	KCM	Kahramanmaraş Havalimanı
ADF	Adıyaman Havalimanı	NAV	Kapadokya Havalimanı
AJI	Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı	KSY	Kars-Harakani Havalimanı
MZH	Amasya-Merzifon Havalimanı	KFS	Kastamonu Havalimanı
ESB	Ankara-Esenboğa Havalimanı	ASR	Kayseri-Erkilet Havalimanı
AYT	Antalya Havalimanı	KYA	Konya Havalimanı
GZP	Alanya-Gazipaşa Havalimanı	KZR	Kütahya Zafer Havalimanı
EDO	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı	MLX	Malatya Erhac Havalimanı
BAL	Batman Havalimanı	MQM	Mardin Havalimanı
YEI	Bursa-Yenişehir Havalimanı	DLM	Muğla Dalaman Havalimanı
CKZ	Çanakkale Havalimanı	BJV	Muğla Milas Havalimanı
DNZ	Deniz-Çardak Havalimanı	MSR	Muş Havalimanı
DIY	Diyarbakır Havalimanı	OGU	Ordu-Giresun Havalimanı
EZS	Elazığ Havalimanı	SZF	Samsun-Çarşamba Havalimanı
ERC	Erzincan Havalimanı	SXZ	Siirt Havalimanı
ERZ	Erzurum Havalimanı	NOP	Sinop Havalimanı
GZT	Gaziantep Havalimanı	VAS	Sivas Nuri Demirdağ Havalimanı
HTY	Hatay Havalimanı	GNY	Şanlıurfa-GAP Havalimanı
IGD	Iğdır Havalimanı	NKT	Şırnak Havalimanı
ISE	Isparta S.D. Havalimanı	TEQ	Tekirdağ-Çorlu Havalimanı
IST	İstanbul Atatürk Havalimanı	TJK	Tokat Havalimanı
SAW	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	TZX	Trabzon Havalimanı
ADB	İzmir Andan Menderes Havalimanı	VAN	Van Havalimanı

5.2 VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Emisyon hesaplarında aktarmasız iç hat seferi yapan yolcu uçakları kullanılmıştır. Emisyon miktarlarının hesaplanabilmeleri için LTO ve uçuş verilerine ihtiyaç duyulmuştur. Uçak tiplerinin LTO sayılarının bulunması için öncelikle bir tarih belirlenmiştir. Belirlenen bir tarih için <https://www.skyscanner.com.tr/> sitesinden havalimanlarının aktarmasız uçak seferlerine bakıldı. Uçak sefer sayıları farklı zaman aralıkları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu, belirlenen gün içerisinde yapılan seferlerin sayıları, farklı zaman aralıklarındaki sefer sayılarıyla

aynı çıkmıştır. Seferlerin olacağı iller için aktarmasız uçuşlarda kullanılacak uçak tipleri <https://www.turna.com/> sitesinden bulunmuştur. Ayrıca, eş zamanlı olarak tabloların hazırlandığı gün için Devlet Hava Meydanları İşletmesi'ne bağlı olan, her havalimanının kendi sitesinden "Uçuş Bilgileri" ile karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda sefer sayıları aynı çıkmıştır. Resmi Tatil olan günler için de uçak seferlerine bakılmış, sadece Esenboğa Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı, Atatürk Havalimanı vb. havalimanlarında 1 ya da 2 ek seferler yapıldığı görülmüştür. Ek seferler yıl içerisinde yapılan seferler kıyasla ihmal edilebilir sayıda olduğundan hesaplamaya dahil edilmemiştir. Planlanan uçuş mesafesi, seferlerin uçuş kodu kullanılarak <https://www.airportia.com/> sitesinden elde edilmiştir.

Veri elde etme sürecinin sonunda ülkemizde bulunan 55 havalimanından, iç hatlarda aktarmasız uçuş yapan 46 havalimanının olduğu tespit edilmiştir. 46 havalimanında iç hatlarda aktarmasız sefer yapan şirketlere ait toplam 10 farklı uçak çeşidi bulunmuştur. Her bir havalimanından varılan havalimanına ait sefer sayıları ve bu uçuşların hangi uçak tipi ile yapıldığı tablo haline getirilmiştir. Adana Havalimanı için hazırlanan örnek tablo Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Tabloda uçak isimleri, Türkiye'de kullanımı, IATA'da kullanımı ve Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO–International Civil Aviation Organization)'ünde kullanımı olmak üzere 3 şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Adana Havalimanından yapılan seferler, sefer yapan uçakların uçak tipi ve LTO sayıları.

HAVALİMANLARI		UÇAK TİPİ													
GİDİŞ	VARIŞ	Turkish	Airbus	ICAO	IATA	A318	A319	A320	A321	A330	738	773	737	E90	E90
		Airbus	A318	A319	A320	A321	A330	B738	B773	B737	E190	E190			
Adana Havalimanı	Antalya Havalimanı										4				
Adana Havalimanı	Trabzon Havalimanı										1				
Adana Havalimanı	Van Havalimanı										1				

5.3 HESAPLAMA YÖNTEMİ VE EMİSYON FAKTÖRLERİ

Hesaplamalarda 2006'da yayımlanan IPCC Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri Rehberi kullanılmıştır. Hesaplama yöntemi olarak Tier2 yöntemi seçilmiştir. Tier2 yöntemi için hesaplamalarda kullanılan denklemler Bölüm 3'de verilmiştir. Sivil havacılıkta kullanılan LTO ve seyir için emisyon faktörleri 2013 yılında yayımlanan ve 2014 yılında güncellenen EMEP/EEA Emisyon Envanteri Rehber Kitabından alınmıştır. Emisyon faktörü bulunmayan uçak tipleri için yakıt tüketimi ve uçağın maksimum menzili göz önünde bulundurularak, bu değerlere yakın olan uçak tipinin değerleri kullanılmıştır.

5.4 EMİSYONLARIN HESAPLANMASI

LTO emisyonlarındaki CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, HC kirleticileri ve H₂O, seyir emisyonunda ise CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, N₂O, SO₂ ve NMVOC kirleticilerinin değerleri hesaplanmıştır.

İstanbul Atatürk Havalimanından Adana Havalimanına giden bir A320 tipi uçak için emisyon miktarlarının hesaplanması, adımlar haliyle aşağıdaki gibi verilmiştir.

1. Adım: 100 km'de tüketilen yakıt miktarı

Öncelikle işlemi yapılacak uçak tipinin maksimum yakıt kapasitesi ve bu kapasite ile gittiği maksimum menzilden 100 km'de ne kadar yakıt tükettiği bulundu. Bu işlem için her uçak tipinin kendi internet adresinden litre (l) olarak maksimum yakıt kapasitesi ve km olarak maksimum menzil bilgileri alınmıştır. Yakıt kütlesini bulmak için Denklem 5.1 kullanılmıştır. Yapılan işlemde uçak yakıtı olarak bilinen kerosenin yoğunluğu 0.803 kg/l alınmıştır (URL-24 2016).
Örneğin;

A320 tipi bir uçak maksimum 25705 litre kapasite ile maksimum 6100 km gidebilmektedir (URL-25 2016). Bu uçak tipinin yıllık olarak 100 km'de tüketebileceği ton olarak yakıt kapasitesi:

$$\text{Kütle}=\text{yoğunluk (kg/l)}\times\text{hacim(l)}\times 1 \text{ ton}/1000 \text{ kg} \quad (5.1)$$

A320 uçak tipinin ton kütle biriminden maksimum yakıt tüketimi:

$$\text{Kütle}_{A320} = 0.803 \text{ kg/l} \times 25705 \text{ (l)} \times 1 \text{ ton}/1000 \text{ kg}$$

$$\text{Kütle}_{A320} = 20.64 \text{ ton}$$

A320 uçak tipinin günde 100 km sefer yapacak şekilde tükettiği yıllık yakıt miktarı:

$$100 \text{ km'de tükettiği yıllık yakıt miktarı} = \frac{20.64 \text{ ton/gün} \times 100 \text{ km}}{6100 \text{ km}} \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}}$$

$$100 \text{ km'de tükettiği yıllık yakıt miktarı} = 123.51 \text{ ton/yıl}$$

2. Adım: LTO sırasında emisyon miktarlarının hesaplanması

$$E = EF \left(\frac{\text{kg}}{\text{LTO}} \right) \times A \left(\frac{\text{LTO}}{\text{gün}} \right) \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \quad (5.2)$$

Çizelge 5.3 Aktarmasız iç hat seferlerinde kullanılan uçak tipleri ve yakıt tüketiminden kaynaklanan emisyonların LTO'daki emisyon faktörleri (Winther et al. 2014).

Uçak Tipi	Yolcu Kapasitesi	Emisyon Faktörü (kg/ton)						Tüketilen Yakıt (kg/ton)
		CO ₂	NO _x	CO	HC	H ₂ O	PM _{2.5}	
A318	132 ¹	2750.7	10.8	5.5	0.1	1074.1	0.1	873.3
A319	156 ²	2169.8	7.5	9.5	2.0	847.2	0.1	688.8
A320	180 ³	2750.7	10.8	5.5	0.1	1074.1	0.1	873.3
A321	236 ⁴	2750.7	10.8	5.5	0.1	1074.1	0.1	873.3
A330	440 ⁵	5934.6	27.6	13.0	1.0	2317.3	0.1	1884
B737	149 ⁶	2454.2	9.1	8.0	0.9	958.4	0.1	779.2
B738	189 ⁶	2775.5	12.3	7.1	0.7	1083.8	0.1	881.1
B773	491 ⁷	7588.0	63.3	17.7	2.0	2962.9	0.1	2409
E190	114 ⁸	2169.8	7.5	9.5	2.0	847.2	0.1	688.8
E190	124 ⁹	2169.8	7.5	9.5	2.0	847.2	0.1	688.8

¹ URL-26

² URL-27

³ URL-28

⁴ URL-29

⁵ URL-30

⁶ URL-31

⁷ URL-32

⁸ URL-33

⁹ URL-34

Emisyon miktarı Eşitlik 5.2'ye göre hesaplanmıştır. A320 uçak tipi İstanbul Atatürk Havalimanından, Adana Havalimanına günde 1 sefer yapmıştır. Buna göre LTO sayımız 1'dir. Emisyon hesaplarında aktivite değeri olarak LTO sayıları alınmıştır. Uçak tiplerinin ve kirleticilerin LTO emisyon faktörleri 2013 yılında yayınlanan ve 2014 yılında güncellenen EMEP/EEA Emisyon Envanteri Rehber Kitabından alınmıştır. Bu rehber kitaba göre aktarmasız iç hat seferlerinde kullanılan uçak tipleri ve yakıt tüketiminden kaynaklanan emisyonların LTO'daki emisyon faktörleri Çizelge 5.3'deki gibidir. Hesaplamalarda emisyon faktörü olmayan Embraer 190 ve Embraer 195 uçak tipleri için Airbus A319 uçak tipinin emisyon faktörü kullanılmıştır. Yolcu kapasitesi ile emisyon faktörleri karşılaştırıldığında aralarında doğru bir orantı olduğu görülmektedir.

LTO sırasında tüketilen yakıtın miktarı:

$$E_{\text{yakıt}} = 873.3 \left(\frac{\text{kg}}{\text{LTO}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{LTO}}{\text{gün}} \right) \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{\text{yakıt}} = 318.76 \text{ ton/yıl}$$

LTO sırasında tüketilen yakıttan kaynaklanan CO₂ emisyonu miktarı:

$$E_{\text{CO}_2} = 2750.7 \left(\frac{\text{kg}}{\text{LTO}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{LTO}}{\text{gün}} \right) \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{\text{CO}_2} = 1004.01 \text{ ton/yıl}$$

LTO sırasında tüketilen yakıttan kaynaklanan NO_x emisyonu miktarı:

$$E_{\text{NO}_x} = 10.8 \left(\frac{\text{kg}}{\text{LTO}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{LTO}}{\text{gün}} \right) \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{\text{NO}_x} = 3.94 \text{ ton/yıl}$$

LTO sırasında tüketilen yakıttan kaynaklanan CO emisyonu miktarı:

$$E_{\text{CO}} = 5.5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{LTO}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{LTO}}{\text{gün}} \right) \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{\text{CO}} = 2.01 \text{ ton/yıl}$$

LTO sırasında tüketilen yakıttan kaynaklanan HC emisyonu miktarı:

$$E_{HC} = 0.1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{LTO}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{LTO}}{\text{gün}} \right) \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{HC} = 0.04 \text{ ton/yıl}$$

LTO sırasında tüketilen yakıttan kaynaklanan H₂O emisyonu miktarı:

$$E_{H_2O} = 1074.1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{LTO}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{LTO}}{\text{gün}} \right) \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{H_2O} = 392.05 \text{ ton/yıl}$$

LTO sırasında tüketilen yakıttan kaynaklanan PM_{2.5} emisyonu miktarı:

$$E_{PM_{2.5}} = 0.1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{LTO}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{LTO}}{\text{gün}} \right) \times \frac{365 \text{ gün}}{1 \text{ yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{PM_{2.5}} = 0.04 \text{ ton/yıl}$$

3. Adım: Seyir halindeki emisyon miktarlarının hesaplanması

$$\text{Toplam tüketilen yakıt miktarı} = Y_{A320} \times \text{Sefer Uzunluğu}_{IST \rightarrow ADA} \times LTO \quad (5.3)$$

Y_{A320} : 100 km'de tüketilen yakıt miktarı

Sefer Uzunluğu $IST \rightarrow ADA = 714 \text{ km}$

Eşitlik 5.4 kullanılarak her uçak tipinin seyir halinde tükettiği yakıt miktarı bulunmuştur.

$$\text{Seyir için tüketilen yakıt} = \text{Toplam tüketilen yakıt} - LTO'da \text{ tüketilen yakıt} \quad (5.4)$$

Eşitlik 5.5 kullanılarak uçakların seyir halinde tükettiği yakıttaki emisyon miktarı ve kirleticilerin emisyon miktarı bulunmuştur.

$$E_{Seyir} = EF_{Seyir} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) \times \text{Seyir halinde tüketilen yakıt (ton)} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \quad (5.5)$$

Seyir halindeki emisyon faktörleri de 2013 yılında yayınlanan ve 2014 yılında güncellenen EMEP/EEA Emisyon Envanteri Rehber Kitabından alınmıştır. Seyir hali emisyon faktörleri her bir uçak tipi için ayrı verilmemiştir. Çizelge 5.4’ de seyir için kullanılan emisyon faktörleri yer almaktadır.

Çizelge 5.4 Ortalama filo için seyir halinde kullanılan emisyon faktörleri (Winther et al. 2014).

Kirletici	CO ₂	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	SO ₂	PM _{2.5}
EF (kg/ton)	3150	0.1	2	10.3	0.1	1	0.2

İstanbul Atatürk Havalimanından, Adana Havalimanına giden A320 uçak tipi için seyir halinde tüketilen yakıt:

$$\text{Toplam tüketilen yakıt miktarı}_{\text{IST} \rightarrow \text{ADA}} = \left(\frac{123.51 \text{ ton/yıl}}{100 \text{ km}} \times 714 \text{ km} \right) \times 1$$

$$\text{Toplam tüketilen yakıt miktarı}_{\text{IST} \rightarrow \text{ADA}} = 881.85 \text{ ton/yıl}$$

$$\text{Seyirde tüketilen yakıt} = 881.85 \text{ ton/yıl} - 318.76 \text{ ton/yıl}$$

$$\text{Seyirde tüketilen yakıt} = 563.10 \text{ ton/yıl}$$

Seyirde tüketilen yakıttan kaynaklanan CO₂ emisyon miktarı:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ Seyir}} = 3150 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 563.10 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{\text{CO}_2 \text{ Seyir halinde}} = 1773.75 \text{ ton/yıl}$$

Seyirde tüketilen yakıttan kaynaklanan N₂O emisyon miktarı:

$$E_{\text{N}_2\text{O Seyir}} = 0.1 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 563.10 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{\text{N}_2\text{O Seyir}} = 0.056 \text{ ton/yıl}$$

Seyirde tüketilen yakıttan kaynaklanan CO emisyon miktarı:

$$E_{CO \text{ Seyir}} = 2 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 563.10 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{CO \text{ Seyir}} = 1.13 \text{ ton/yıl}$$

Seyirde tüketilen yakıttan kaynaklanan NO_x emisyon miktarı:

$$E_{NO_x \text{ Seyir}} = 10.3 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 563.10 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{NO_x \text{ Seyir}} = 5.80 \text{ ton/yıl}$$

Seyirde tüketilen yakıttan kaynaklanan NMVOC emisyon miktarı:

$$E_{NMVOC \text{ Seyir}} = 0.1 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 563.10 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{NMVOC \text{ Seyir}} = 0.06 \text{ ton/yıl}$$

Seyirde tüketilen yakıttan kaynaklanan SO₂ emisyon miktarı:

$$E_{SO_2 \text{ Seyir}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 563.10 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$E_{SO_2 \text{ Seyir}} = 0.563 \text{ ton/yıl}$$

Seyirde tüketilen yakıttan kaynaklanan PM_{2.5} emisyon miktarı:

$$E_{PM_{2.5} \text{ Seyir}} = 0.2 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 563.10 \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

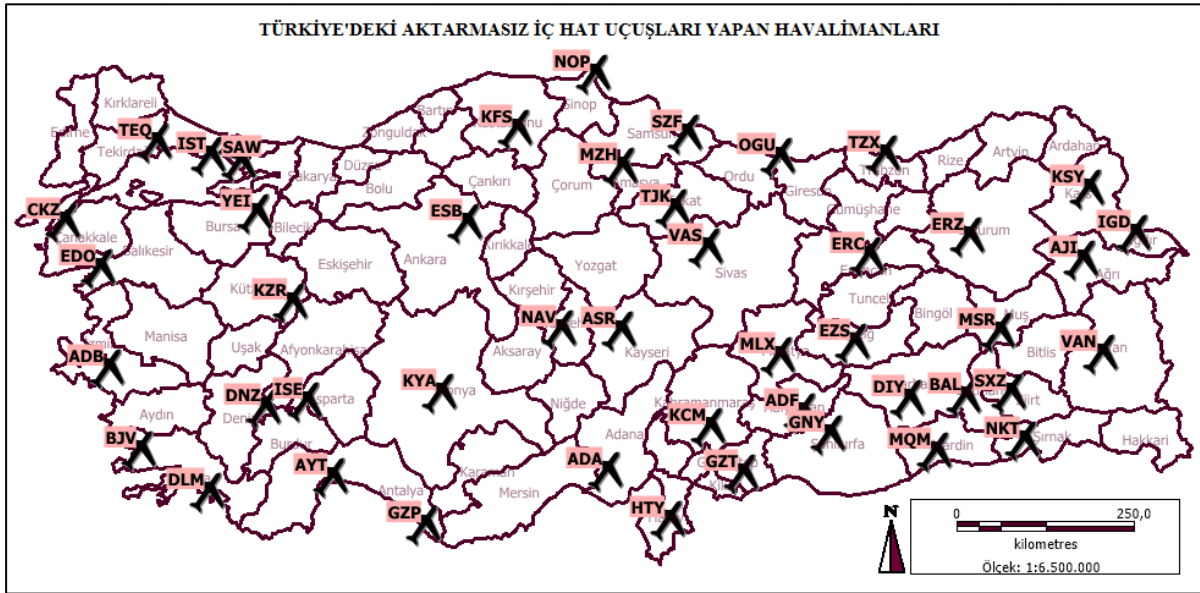
$$E_{PM_{2.5} \text{ Seyir}} = 0.12 \text{ ton/yıl}$$

Diğer uçak tipleri ve güzergahlara ait emisyon miktarları da benzer şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan emisyon değerleri tablolarda Coğrafi Bilgi Sistemine aktarılması için hazır hale getirilmiştir. LTO emisyonları tablosu ve seyir emisyonları tablosu sırasıyla Ek B ve Ek C’de verilmiştir.

5.5 SONUÇLARIN COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİNE AKTARILMASI

Hesaplanan emisyonlardan LTO ve seyir için ortak kirleticiler seçilmiştir. Bunlar CO₂, CO, NO_x ve PM_{2.5}’dur. Bu dört kirletici için toplam emisyon değerleri CBS yardımıyla şehirlerle dağıtılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımları olarak MapInfo ve ARCGIS kullanılmıştır.

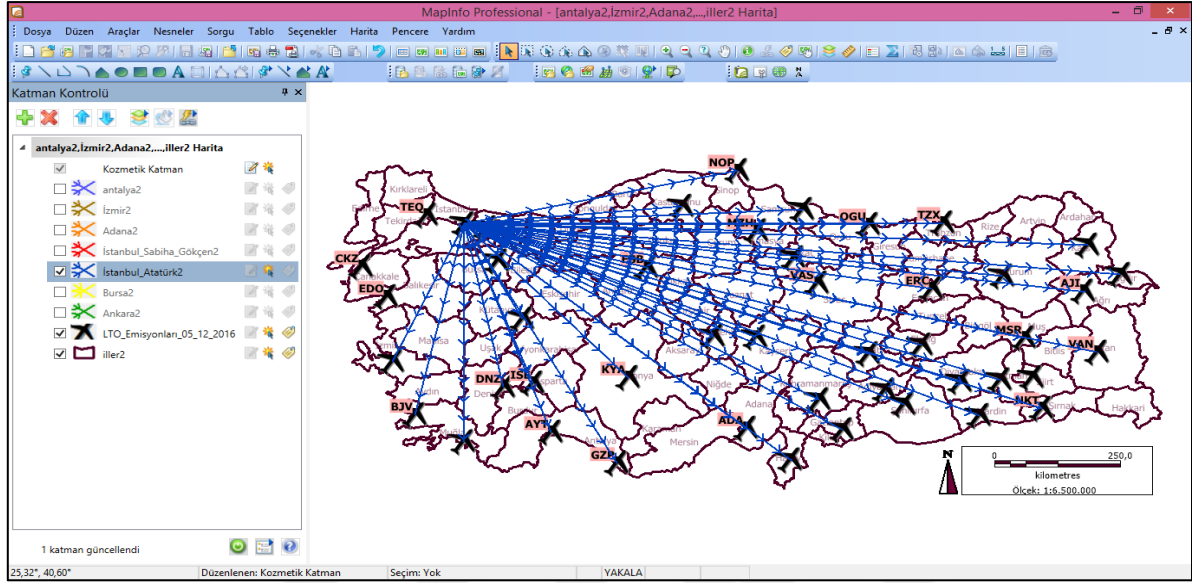
Öncelikle derece-dakika-saniye olarak elde edilen havalimanı koordinatları (URL-35 2016), UTM Coordinate Converter programı ile ondalıklı dereceye dönüştürülmüş ve koordinatların yerleri bu program ile doğrulanmıştır. Havalimanlarının koordinatları ve IATA’daki kodları MapInfo yazılımına katman olarak eklenmiştir. Türkiye’deki aktarmasız iç hat seferleri yapan havalimanlarının harita üzerindeki görünümü Şekil 5.1’de verilmiştir.



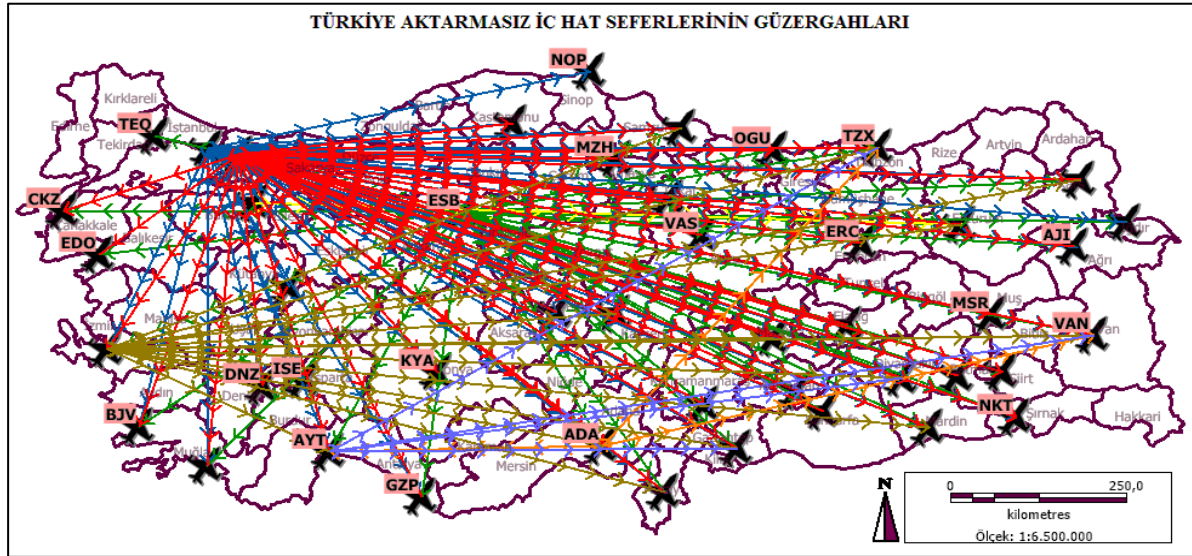
Şekil 5.1 Türkiye’deki aktarmasız iç hat seferleri yapan havalimanları.

LTO ve seyir emisyonları ayrı katman olarak MapInfo yazılımına eklenmiştir. Havalimanı bulunan şehirler için LTO emisyonunun, havalimanının bulunduğu şehre salındığı kabul

edilmiştir. Seyir emisyonları için kalkış ve varış noktalarını birleştirecek çizgiler çizilmiştir. Örnek olarak şekil 5.2’de kalkış noktası İstanbul Atatürk Havalimanı olan uçağın gideceği güzergahları ve varılan havalimanları gösterilmiştir. Tüm havalimanları için güzergahlar şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Kalkış noktası İstanbul Atatürk Havalimanı olan uçağın gideceği güzergahları ve varılan havalimanının MapInfo yazılımında gösterimi.



Şekil 5.3 Tüm havalimanları için aktarmasız iç hat sefer güzergahları.

ARCGIS yazılımından seyir emisyonlarının şehirlere dağıtılması için yararlanılmıştır. ARCGIS yazılımındaki araç kutusunda bulunan 'intersect' yardımıyla, şehirlerin üzerinden geçen çizgi uzunluğu, altında bulunan şehirlerin sınır çizgilerine göre bölünmüş ve sayısallaştırılmıştır. Ardından elde edilen veriler MapInfo yazılımına aktarılmıştır. MapInfo yazılımında şehir mesafelerine düşen seyir emisyonları hesaplanmıştır. Havalimanı bulunan şehirlerdeki LTO emisyon değerleri ile havalimanının bulunduğu şehrin uzunluğuna göre düşen seyir emisyonu miktarı toplanmıştır. Hesaplamalar 4 kirletici için yapılmıştır. Sonuçlar; Ek D'de tablo halinde ve her bir kirletici için farklı tematik haritalar ile verilmiştir.



BÖLÜM 6

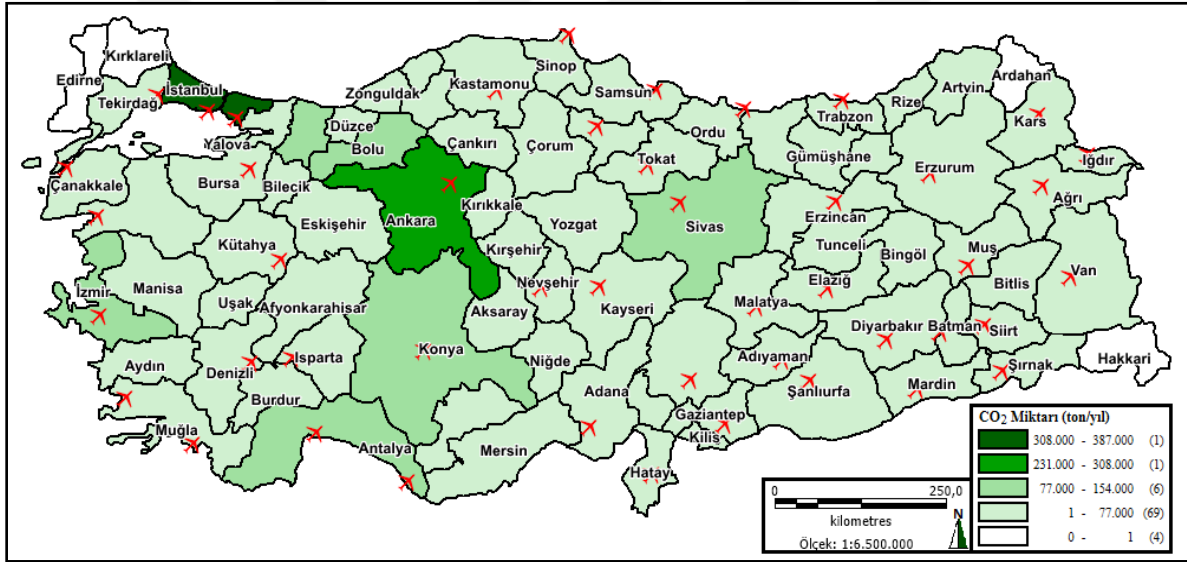
BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, Türkiye'deki aktarmasız iç hat uçuşlarından kaynaklanan emisyonlar belirlenmiştir. Emisyon hesaplamaları yaparken uçuşları 914 m altındaki uçuşlar LTO, 914 m üzerindeki uçuşları seyir olarak adlandırılmıştır. LTO emisyonlarındaki CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, HC kirleticileri ve H₂O, seyir emisyonunda ise CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, N₂O, SO₂ ve NMVOC kirleticilerinin değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan kirletici emisyonlarında seyir ve LTO için ortak olan emisyon değerleri seçilmiştir. LTO emisyonu havalimanının bulunduğu şehir içinde gerçekleşir. Seyir emisyonları birden çok şehir üzerinde gerçekleştiği için, ARCGIS yazılımı kullanılarak güzergah uzunlukları şehirlerin kesişimine göre sayısallaştırılmıştır. MapInfo yazılımı ile şehir uzunluklarına göre seyir emisyonları şehirlere dağıtılmış ve havalimanının bulunduğu şehirlere de LTO emisyonları eklenmiştir.

LTO ve seyir emisyonlarının harita üzerinde gösterilmesi için ortak 4 kirletici (CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}) seçilmiştir. Bu kirleticilerin şehirlerdeki emisyon dağılımı sonuçları Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te tematik harita olarak verilmiştir. Şekil 6.1'de CO₂ emisyonlarının dağılımı, Şekil 6.2'de CO emisyonlarının dağılımı, Şekil 6.3'de NO_x emisyonlarının dağılımı ve Şekil 6.4'de PM_{2.5} emisyonlarının dağılımı gösterilmiştir. Sonuçlar kirleticilerin yoğunluk seviyesine göre irdelenmiştir. 1. yoğunluk seviyesi kirlilik miktarının en fazla olduğu şehirleri tanımlarken, 4. yoğunluk seviyesi en düşük kirlilik miktarını gösteren şehirler ve 5. yoğunluk seviyesi de iç hat seferlerinden kaynaklı kirliliğin bulunmadığı şehirler anlamına gelmektedir.

Şekil 6.1'de aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının dağılımı verilmiştir. Haritada kirlilik yükü en yüksek olan şehir İstanbul çıkmıştır. İstanbul şehrinin CO₂ emisyonu miktarı yıllık olarak 386946.72 ton bulunmuştur. İstanbul'da iki tane havalimanının bulunması, iç hat sefer sayısının fazla olmasından dolayı CO₂ emisyon miktarı fazla çıkmıştır. Hesaplamalara ve tematik haritaya göre en yüksek kirlilik yüküne sahip ikinci

şehir Ankara'dır. Ankara şehrinin CO₂ emisyonu miktarı yıllık 278448.63 ton bulunmuştur. İstanbul'da olduğu gibi Ankara'daki havalimanında da uçak sefer sayıları diğer havalimanlarına kıyasla daha fazladır. Ankara'daki CO₂ miktarının fazla çıkmasının diğer bir sebebi ise, şehrin uçuş güzergahları altında yer almasıdır. Emisyon miktarı olarak İstanbul ve Ankara'yı takip eden ve 3. yoğunlukta kirlilik yüküne sahip olan şehirler sırasıyla; İzmir (101559.48 ton/yıl), Bolu (98482.38 ton/yıl), Konya (93096.73 ton/yıl), Sakarya (82738.06 ton/yıl), Antalya (81616.37 ton/yıl) ve Sivas (80055.93 ton/yıl)'dır. Sakarya ve Bolu'da havalimanı olmamasına rağmen CO₂ emisyonları bulunmaktadır. Bunun nedeni sefer güzergahlarında bulunmalarındandır. CO₂ emisyonunun bulunmadığı şehirler Edirne, Kırklareli, Ardahan ve Hakkari'dir. Bu şehirlerde hem havalimanı yoktur hem de yapılan seferlerin güzergahları dışındadırlar.



Şekil 6.1 Türkiye'deki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının şehirlere dağılımı haritası.

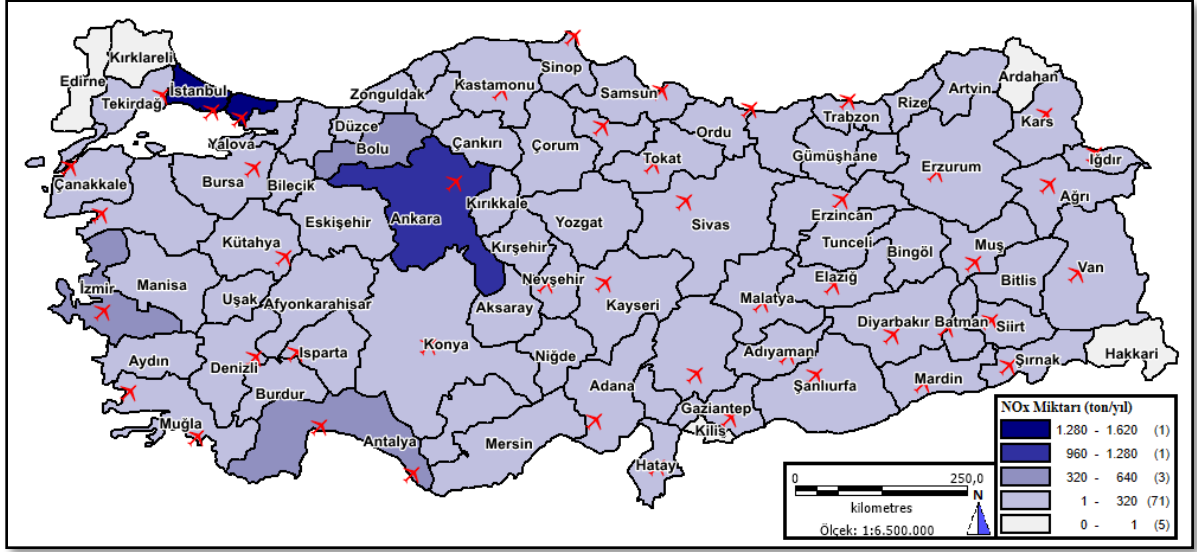
Şekil 6.2'de aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan CO emisyonlarının dağılımı verilmiştir. Haritada kirlilik yükü en yüksek olan şehir İstanbul'dur. İstanbul şehrinin CO emisyonu miktarı yıllık olarak 898.78 ton çıkmıştır. İstanbul'da iki tane havalimanının bulunması ve iç hat sefer sayısının fazla olmasından dolayı CO emisyon miktarının fazla olduğu tahmini yapılmaktadır. En yüksek kirlilik yüküne sahip ikinci şehir Ankara çıkmıştır. Ankara şehrinin CO emisyonu miktarı yıllık olarak 442.02 ton bulunmuştur. İstanbul'da olduğu gibi Ankara'daki havalimanında da uçak sefer sayıları diğer havalimanlarına kıyasla

daha fazladır. CO emisyonunun en fazla olduğu diğer şehirler İzmir, Antalya ve Adana'dır. Sırasıyla emisyon miktarları; 211.16 ton/yıl, 169.12 ton/yıl, 136.64 ton/yıl'dır. İzmir, Antalya ve Adana'da emisyon değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni, bu şehirlerde havalimanı olması ve sefer sayılarının İstanbul ve Ankara'dan daha az fakat diğer havalimanlarından daha fazla olmasıdır. CO emisyonunun olmadığı şehirler Edirne, Kırklareli, Ardahan ve Hakkari'dir. Bu şehirlerde hem havalimanı yoktur hem de yapılan seferlerin güzergahları dışındadırlar.



Şekil 6.2 Türkiye'deki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan CO emisyonlarının şehirlere dağılımı haritası.

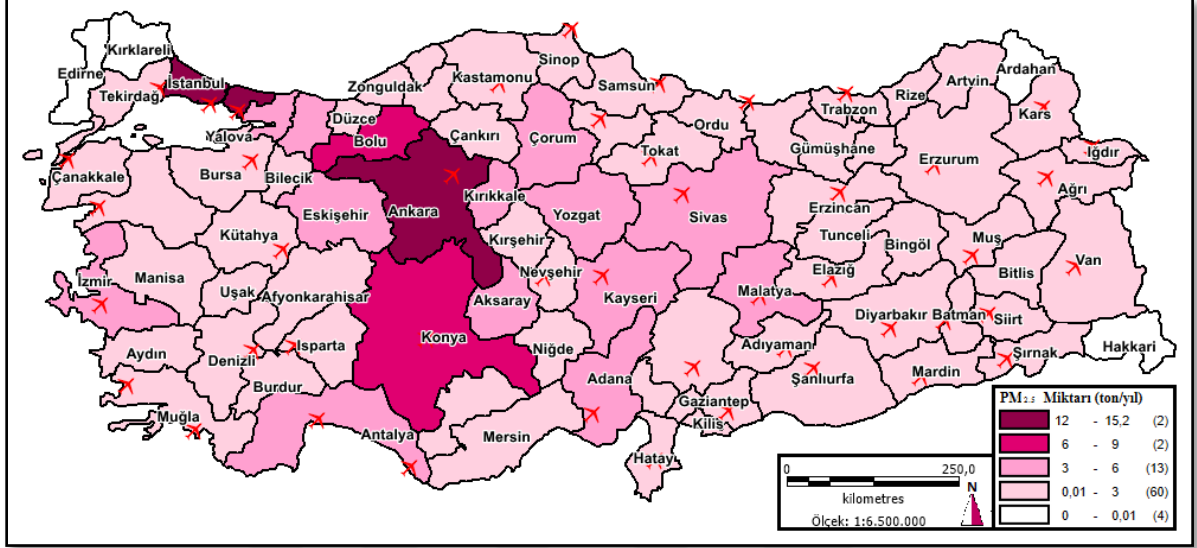
Şekil 6.3'de aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan NO_x emisyonlarının dağılımı verilmiştir. Haritada kirlilik yükü en yüksek olan şehir İstanbul çıkmıştır. İstanbul şehrinin NO_x emisyonu miktarı yıllık olarak 1619.96 ton çıkmıştır. İstanbul'da iki tane havalimanının bulunması ve iç hat sefer sayısının fazla olmasından dolayı NO_x emisyon miktarının fazla çıkmıştır. En yüksek kirlilik yüküne sahip ikinci şehir Ankara'dır. Ankara şehrinin NO_x emisyonu miktarı yıllık olarak 1056.77 ton bulunmuştur İstanbul'da olduğu gibi Ankara'daki havalimanında da uçak sefer sayıları diğer havalimanlarına kıyasla daha fazladır. Haritada 3. yoğunlukta kirlilik yükündeki, en fazla emisyon miktarına sahip olan şehir İzmir (418.32 ton/yıl)'dir. İzmir'den sonra emisyon miktarının fazla olduğu şehirler yıllık 334.18 ton NO_x ile Antalya ve yıllık 326.20 ton NO_x ile Bolu'dur. NO_x emisyonunun olmadığı şehirler Edirne, Kırklareli, Ardahan, Hakkari ve Kilis'tir. Bu şehirlerde hem havalimanı yoktur hem de yapılan seferlerin güzergahları dışındadırlar.



Şekil 6.3 Türkiye'deki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan NO_x emisyonlarının şehirlere dağılımı haritası.

Şekil 6.4'de aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan PM_{2.5} emisyonlarının dağılımı verilmiştir. Haritada kirlilik yükü en yüksek olan şehirler İstanbul ve Ankara çıkmıştır. İstanbul şehrinin PM_{2.5} emisyonu miktarı yıllık olarak 15.17 ton ve Ankara şehrinin PM_{2.5} emisyonu miktarı yıllık olarak 13.95 ton bulunmuştur. İki tane havalimanının bulunması ve iç hat sefer sayısının fazla olmasından dolayı PM_{2.5} emisyon miktarının en fazla olduğu şehir İstanbul'dur. İstanbul'dan sonra en fazla emisyon miktarına sahip olan şehir Ankara'dır. Ankara'da havalimanının bulunması ve havalimanında iç hat sefer sayısının fazla olması, ayrıca diğer havalimanlarının güzergahında olmasından dolayı PM_{2.5} emisyon miktarı fazla çıkmıştır. Haritada 2. yoğunlukta kirlilik yükündeki şehirler; Bolu (6.33 ton/yıl) ve Konya (6.14 ton/yıl) çıkmıştır. Konya şehrinde PM_{2.5} emisyon değerinin yüksek çıkmasının nedenlerinden biri, (sefer sayısı diğer havalimanlarına kıyasla az olmasına rağmen) havalimanına sahip olması, PM_{2.5} emisyon değerinin yüksek çıkmasının diğer nedeni ise seferlerin güzergahı üzerinde yer almasıdır. Bolu şehrinde ise havalimanı bulunmamasına rağmen PM_{2.5} emisyon değerinin 2. yoğunlukta çıkmıştır. Bunun nedeni ise seferlerin güzergahı üzerinde yer almasıdır. Harita da Sakarya (5.29 ton/yıl), Sivas (5.07 ton/yıl), Kocaeli (4.41 ton/yıl), İzmir (4.25 ton/yıl), Kırıkkale (4.18 ton/yıl), Adana (4.02 ton/yıl), Eskişehir (3.94 ton/yıl), Yozgat (3.74 ton/yıl), Çorum (3.73 ton/yıl), Kayseri (3.55 ton/yıl), Antalya (3.47 ton/yıl), Aksaray (3.06 ton/yıl), Malatya (3.02 ton/yıl) olmak üzere 13 şehir 3. yoğunlukta kirlilik yüküne sahip şehirlerdir. Bu şehirlerin bazılarında havalimanı olmamasına rağmen PM_{2.5} emisyonları bulunmaktadır. Bunun nedeni sefer güzergahlarında

bulunmalarından dolayıdır. PM_{2.5} emisyonunun olmadığı şehirler Edirne, Kırklareli, Ardahan ve Hakkari'dir. Bu şehirlerde hem havalimanı yoktur hem de yapılan seferlerin güzergahları dışındadırlar.

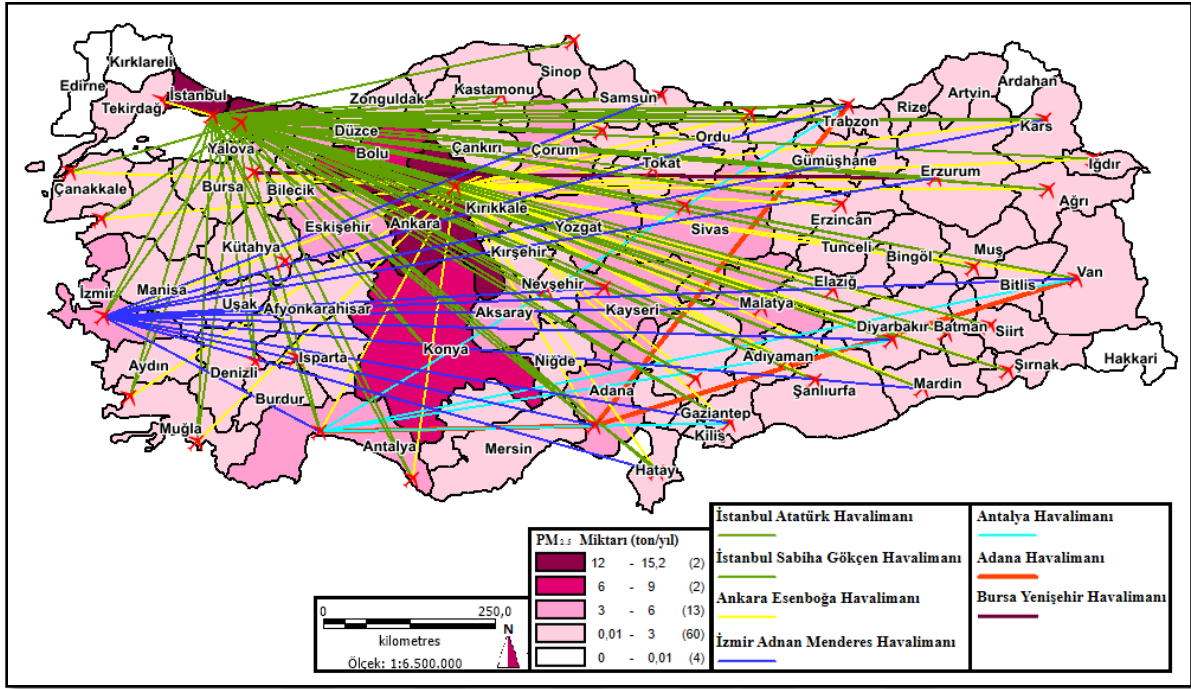


Şekil 6.4 Türkiye'deki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan PM_{2.5} emisyonlarının şehirlere dağılımı haritası.

Tematik haritalar ve EK-D'deki tablolar incelendiğinde, tüm kirletici emisyonlarında en yüksek değeri alan şehrin İstanbul'dur. Bu şehirden sonra en yüksek kirletici oranına sahip şehir Ankara olmuştur. Bu iki şehri izleyen ve havalimanı olan şehirler İzmir, Antalya, Konya ve Adana'dır. Yüksek emisyon değerlerine sahip ve içerisinde havalimanı bulunmayan şehirler olarak Bolu, Sakarya, Kocaeli'yi söylememiz mümkündür.

Tematik haritanın daha anlaşılır olması için Bölüm 5'de LTO emisyonları için verilen Çizelge 5.2 ile seyir emisyonları için verilen Çizelge 5.3 karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma da PM_{2.5}'nin LTO emisyonu faktörü 0.1 kg/ton iken seyir emisyonu faktörü 0.2 kg/ton'dur. Bu bilgiye göre PM_{2.5} kirleticisi, seyirdeki emisyon miktarı, LTO'daki miktarının iki katı olacaktır. Uçakların seyir durumunda PM_{2.5} emisyonunun fazla olacağı göz önünde bulundurularak Şekil 6.4 tekrar incelendiğinde içerisinde havalimanı bulunan şehirlerde (İstanbul, Ankara, Konya, İzmir, Antalya, Kayseri, Adana, Sivas, Malatya) ve havalimanı bulunmayan şehirlerde de (Bolu, Kocaeli, Sakarya, Eskişehir, Kırıkkale, Aksaray, Çorum, Yozgat) bu kirleticinin yoğunluk derecesinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Çünkü bu şehirler, uçuş güzergahları altında kalmaktadır. Bu şehirler üzerinden geçen güzergahlar

Şekil 6.5’de görülmektedir. Şekil 6.5’de PM_{2.5} emisyonları için hazırlanan tematik harita üzerinde 7 havalimanından olan güzergahlar gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Türkiye aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan PM_{2.5} emisyonları ve 7 havalimanından diğer havalimanlarına olan güzergahlar.

NO_x için Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 karşılaştırıldığında, değerlerin birbirine yakın olduğu fakat yüksek yolcu kapasitesi olan uçaklarda (A330 ve B773) LTO emisyon faktörünün daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, NO_x emisyonlarının, uçakların hem seyir faaliyetinde hem de LTO faaliyetinde meydana geldiğini ifade etmektedir. Şekil 6.3 incelendiğinde NO_x emisyonunun havalimanı olan şehirde fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, özellikle İstanbul’dan yapılan seferler Bolu şehrini de etkilenmiş ve içerisinde havalimanı bulunmayan bu şehre NO_x emisyonunun seyir faaliyetlerinden kaynaklandığı görülmüştür.

Bölüm 5’de verilen emisyon faktörlerindeki CO kirleticisinin LTO ve seyir emisyon faktörleri karşılaştırıldığında, LTO’daki CO emisyon faktörünün seyir emisyon faktöründen iki katından bile daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bu fark, CO kirleticisinin LTO aşamasında daha fazla salındığını göstermektedir. Oluşturduğumuz tematik haritalardan Şekil 6.2, bu durumu bize açık bir şekilde ifade etmektedir. CO emisyonunu gösteren harita, diğer kirleticilere ait olan haritalardan farkı, emisyon yoğunluklarının sadece havalimanlarının

olduğu şehirlerde olmasıdır. Açıkça görülmektedir ki, uçaklardaki CO emisyonları LTO faaliyetinde salınmaktadır.

CO₂ emisyon faktörleri karşılaştırıldığında, NO_x emisyon faktörlerindeki gibi sadece yolcu kapasitesi fazla olan uçaklarda LTO emisyon faktörünün fazla olduğu görülmektedir.

Uçak tipleri irdelendiğinde, yaklaşık %70 oranında iç hat aktarmasız uçuş yapan uçak tipi B738'dir. B738 uçak tipinin emisyon faktörlerine göre CO₂ emisyonların büyük bir kısmının seyir faaliyetinde, NO_x emisyonlarının yaklaşık yarısından fazlasının LTO faaliyetlerinden, CO emisyonlarının büyük kısmının LTO faaliyetlerinden ve PM_{2.5} emisyonlarının yarısından fazlasının seyir faaliyetlerinden gerçekleştireceği tahmin edilmektedir.

2006 yılında yapılan bir çalışmaya göre 2001 yılında Atatürk Havalimanında iç hat seferleri için yapılan emisyon hesapları sonucunda, emisyonların maksimum değerleri şu şekilde verilmiştir; CO 796 ton/yıl ve NO_x 444 ton/yıl (Kesgin 2006). 2011 yılında yapılan diğer bir çalışmada ise İstanbul Atatürk Havalimanı için 2007-2010 yıllarını içeren emisyon hesaplaması yapılmıştır. Bu havalimanı için 2010 yılındaki LTO emisyonları CO₂ 251243 ton/yıl, CO emisyonları 680 ton/yıl, NO_x emisyonları 1092 ton/yıl bulunmuştur (Çağatan, 2011). 2016 yılı için yaptığımız çalışmada ise İstanbul Atatürk Havalimanı için tahmini LTO değerleri CO₂ 155557 ton/yıl, CO 375 ton/yıl, NO_x 659 ton/yıl çıkmıştır. Değerler Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Atatürk Havalimanına ait 3 ayrı çalışmanın emisyon değerleri.

Yıl	Uçuş sayısı	Kirlenici Emisyonları (ton/yıl)			Uçuş Başına Emisyon (ton/LTO.yıl)			Referans
		NO _x	CO	CO ₂	NO _x	CO	CO ₂	
2001	57518	444	796	-	0.008	0.014		Kesgin, 2006
2010	93640	1092	680	251243	0.012	0.007	2.68	Çağatan, 2011
2016	55115	659	375	155557	0.012	0.007	2.82	Bu çalışma, 2017

Çizelge 6.1'de emisyonları karşılaştırmak için, uçuş başına emisyon miktarları hesaplanmıştır. Buna göre 2001 yılından 2010 yılına uçuş sayılarında artma, 2016 yılında ise 2010 yılına kıyasla uçuş sayısında azalma olmuştur. Çalışmalar incelendiğinde Kesgin (2006)'e ait çalışmada 6 uçak tipi kullanıldığı görülmektedir. Kesgin (2006)'in yapmış olduğu çalışma ile diğer iki çalışma karşılaştırıldığında, NO_x emisyonlarının arttığını, CO emisyonunun ise

azaldığını söylemek mümkündür. Çağatan (2011)'ın çalışması ile bu çalışma kıyaslandığında ise CO₂ emisyonlarında bir miktar artış olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada bulunan emisyon miktarları, diğer ulaştırma çeşitlerine göre de kıyaslanmıştır. Çizelge 6.2'de çeşitli yıllarda hesaplanan havayolu, demiryolu, denizyolu (Marmara Denizi) ve karayolu için emisyon miktarları verilmiştir. Demiryolu için EPA emisyon faktörleri ve dizel yakıt kullanım verileri kullanılarak 2000-2005 yılları için egzoz emisyonları (CO₂, CO, NO_x, SO₂, HC, PM) hesaplanmıştır. Hesaplamalar için İstanbul, Ankara, İzmir, Sivas, Malatya, Adana ve Afyon bölgeleri seçilmiş ve emisyon hesaplamaları bu bölgelerdeki dizel lokomotifleri ve vagonlar için var olan veriler ile yapılmıştır. Hesaplar sonucunda en kirletici bölge Ankara çıkarken ikinci kirli bölge İstanbul çıkmıştır. Karayolu ulaşımı için kirleticiler karşılaştırıldığında, NO_x emisyonunun hava kirliliğine %4 oranında katkı sağladığı tahmini yapılmıştır (Dinçer ve Elbir 2006).

Denizyolu ulaşımı için sadece Marmara Bölgesi'ndeki gemileri kapsayan bir çalışma yapılmıştır. Hesaplanan emisyonlar Çizelge 6.2'de gösterilmiştir. İstanbul Boğazı'ndaki toplam denizyolu emisyonları, yerli, transit ve transit dışı gemi emisyonlarının toplamından oluşmaktadır. İstanbul Boğazı'ndaki gemi nakliye emisyonlarının %46'sı iç gemi tarafından üretilmekte olduğu belirlenmiştir. İstanbul Boğazı'ndaki nakliye emisyonları İstanbul'daki demiryolu emisyonlarından ve İstanbul'daki uçaklardan gelen NO_x ve SO₂ emisyonlarından daha yüksek olduğu tahmininde bulunulmuştur (Deniz ve Durmuşoğlu 2008).

Çizelge 6.2'de, 1995 yılında Türkiye'deki karayolları için yapılan emisyon hesaplaması sonucu verilmektedir (Elbir vd. 2000). Çizelgedeki 4 ulaşım türü karşılaştırıldığında Denizyolu ulaşımından CO₂ emisyonunun daha fazla salındığı, en fazla NO_x, CO ve PM_{2.5} emisyonlarının karayolundan oluştuğunu, en az PM_{2.5} emisyonunun havayolu ulaşımında olduğu görülmektedir. Deniz ve Durmuşoğlu (2008) tarafından yapılan çalışmada, ulaşım türleri karşılaştırılmış ve havayolu emisyonlarının diğer ulaşım türlerine kıyasla daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmamızın sonuçlarının bulunduğu Çizelge 6.2'de ise, araç sayısı katılmadan yapılan karşılaştırmada, en düşük emisyonlara sahip ulaşım türü demiryolu, demiryolundan sonra en düşük diğer ulaşım türü ise havayolu olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.2 Türkiye’deki ulaştırma türleri için çeşitli yıllarda yapılan emisyon değerleri.

Ulaştırma Türü	Kirleticiler (ton/yıl)				Referans
	CO ₂	NO _x	CO	PM _{2,5}	
Havayolu	2906103	10469	3579	164	Bu çalışma, 2017
Demiryolu	383537	6799	1016	256	Dinçer vd., 2007
Denizyolu	5451224	111039	20281	4762	Denir vd., 2008
Karayolu	-	240619	1350260	20521	Elbir, 2000

Çizelge 6.3’de Türkiye’deki iç hat seferlerinden kaynaklanan NO_x emisyonları, Kore’de ve Küresel olarak yapılan çalışmaların NO_x emisyon değerleri verilmiştir. Karşılaştırmanın kolayca anlaşılması için uçak başına düşen emisyonlar da hesaplanmış ve çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 Yapılan çalışmanın Dünya’daki diğer çalışmalar ile karşılaştırılması.

Havalimanı	Yıl	LTO/yıl	NO _x (ton/yıl)	Uçuş Başına Emisyon (ton/LTO.yıl)	Referans
Atatürk Uluslararası Havalimanı, Türkiye	2001	57518	444	0.008	Kesgin, 2005
Gimhae International Airport, Korea	2009	61171	335	0.005	Song and Shon, 2012
Gimpo International Airport, Korea	2009	115895	750	0.006	Song and Shon, 2012
Jeju International Airport, Korea	2009	99323	532	0.005	Song and Shon, 2012
Incheon International Airport, Korea	2009	198918	341	0.002	Song and Shon, 2012
Türkiye’deki İç Hat Havalimanları (LTO)	2016	168600	4072	0.024	Bu çalışma, 2017
Türkiye’deki İç Hat Havalimanları (LTO+Seyir)	2016	168600	10469	0.060	Bu çalışma, 2017
Dünya çapındaki İç ve Dış Hat Seferi Yapan Havalimanları (LTO+Seyir)	2005	32400000	2900000	0.090	Kim et al., 2007

Kore’ye ait olan havalimanları, Kore’nin en büyük uluslararası sefer yapan havalimanlarıdır. Atatürk Havalimanı da Türkiye’nin en büyük havalimanıdır. Uluslararası havalimanlarındaki LTO’lar karşılaştırıldığında Kore’deki havalimanlarının NO_x emisyonunun düşük olduğunu görüyoruz. Atatürk Uluslararası Havalimanı’nın NO_x değerinin yüksek olmasının sebebi,

2001 yılında kullanılan uçakların daha eski olması sebebiyle, daha yüksek NO_x emisyonuna sahip olmaları düşünülmektedir. Ayrıca Kore, ekonomik gelişmişlik düzeyi Türkiye'den yüksek olan bir ülkedir (URL-38 2017). Bu gelişmişlik düzeyi, daha yenilikçi, yakıt tasarrufu yapan, çevre dostu filolara sahip olabileceklerini akıllara getirmektedir. Bu düşünce de Türkiye'deki NO_x emisyonlarının neden fazla olduğunu açıklamaktadır. Küresel olan çalışmanın NO_x değerlerine bakıldığında, Türkiye iç hat uçuşlarından kaynaklanan NO_x emisyonundan düşük olduğu görülmektedir. Fakat iki çalışma arasında 11 yıl vardır. 11 yıllık bir süreç (sefer sayıları, yakıt tasarrufu yapan uçaklar, emisyon faktörleri vb.) göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye iç hat seferleri için yapılan bu çalışmanın NO_x değerinin daha düşük çıkması anlamlıdır.



BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, Türkiye'deki aktarmasız iç hat uçuşlarından kaynaklanan emisyonlar belirlenmiştir. Bu çalışmadaki hesaplar 2016 yılına ait Türkiye aktarmasız iç hat yolcu seferlerindeki LTO sayıları kullanılmıştır. Yapılan hesaplar bir yıllık dönemi kapsamaktadır. LTO faaliyetlerinde CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, HC kirleticileri ile H₂O emisyonları değerleri ve seyir faaliyetlerinde CO₂, CO, NO_x, PM_{2.5}, N₂O, SO₂ ve NMVOC kirleticilerinin emisyon değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda seyir ve LTO da ortak olan kirleticiler için kirlilik haritaları oluşturulmuştur. Buna göre; CO kirletici emisyonları en fazla LTO faaliyetlerinden, PM_{2.5} kirletici emisyonları da en fazla seyir faaliyetlerinden olduğu, emisyon faktörleri ve oluşturulan harita incelenerek belirlenmiştir. Oluşturulan harita ve emisyon faktörlerine göre CO₂ ve NO_x kirleticileri her iki faaliyetten de (LTO ve seyir faaliyetlerinden) olduğu görülmüştür. Hesaplamalara göre en fazla kirletici emisyonuna maruz kalan şehirlerin İstanbul ve Ankara olduğu belirlenmiştir. Güzergahlar üzerinde yer alan ve içerisinde havalimanı olmayan şehirlerde de kirletici miktarlarının belirgin olduğu görülmüş ve bu şehirler Bolu, Sakarya, Kocaeli, olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma için yapılan hesaplar iç hat seferlerini kapsadığı için yeni yapılacak çalışmalara dış hat seferleri de eklenerek çalışmanın kapsamını genişletmek mümkündür.

Havalimanlarında LTO faaliyetlerinden kaynaklanan CO emisyonunun azaltılması gerekmektedir. Bunun için uçağın çalışmaya başlamasından, uçağın havalanmasına kadar olan faaliyetlerindeki süre azaltılması ve uçağın çalışır konumda uzun süre bekletilmemesi önerilmektedir. Bunun için uçakların iniş ve kalkış zamanlarının optimize edilmesi uygun olacaktır.

Bir uçak yapım şirketi olan Boeing firmasının 2007'de tanıttığı, yolcu kapasitesi 210-330 arası değişen B787 Dreamliner serisi uçak tipi kendi sınıfındaki diğer uçaklara göre %20

yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Bu seri hem hafif (yapımında kullanılan malzemeler; %50 kompozit, %20 alüminyum , %15 titanyum , %10 çelik ve kalan %5'i ise diğer maddeler) hem de diğer modellere göre daha dayanıklıdır (URL-36 2016). Filoların yenilenmesi sırasında yeni alınacak uçakların B787 Dreamliner gibi yakıt tüketimi düşük olan uçaklardan seçilmesi, uçak kaynaklı emisyonların da azalmasını sağlayacaktır. Her ne kadar bu uçağın yolcu kapasitesi fazla olsa da yoğunluğu fazla olan iç hat uçuşlarında bu uçağın kullanımına yer verilmesi önerilmektedir. Emisyonların azaltılması için bir başka yapılan işlemden, emisyon faktörleri yüksek olan A330 ve B773 uçak tiplerinin filolardan çıkarılması önerilmektedir. Böylelikle uçaklardan kaynaklanacak emisyonlarda ciddi azalma görüleceği düşünülmektedir.

Ülkemizde hali hazırda uygulanmaya devam edilen Yeşil Havalimanı Projesi bulunmaktadır. Bu projenin esaslarını yerine getiren kuruluşlar için Yeşil Kuruluş Sertifikası verilmektedir. Yeşil Havalimanı Projesi'ndeki amaç, havalimanında faaliyet gösteren kuruluşların insan sağlığına ve çevreye verdikleri ve verecekleri zararların ortadan kaldırılmasıdır. Bu proje de ekosistemi korumaya yönelik esaslar yer almaktadır. Bu esaslar içerisinde kuruluşların aylık sera gazı emisyon envanteri hazırlaması ve Türk Standartları Enstitüsü'nde sera gazı envanter raporunun doğrulama faaliyetinin yaptırılması yer almaktadır. SHGM 2015 faaliyet raporuna göre 2015 yılında Yeşil Kuruluş (Green Company) sertifikasına sahip işletme sayısı 97'dir (SHGM 2016). Ayrıca "Yeşil Kuruluş" Sertifikası iptal edilen işletmenin, sertifikanın iptal edildiği tarihten başlamak üzere iki yıl süreyle bu sertifikaya başvuru hakkı yoktur (URL-37 2016). Bu durumda "Yeşil Kuruluş" sertifikası iptal edilen işletmenin içerisinde bulunduğu havalimanı için "Yeşil Havaalanı" sertifikası iptal edileceğinden dolayı, işletmelerin "Yeşil Kuruluş" sertifikasını tekrar almak için belirtilen sürenin daha az olması bu tezin yazarı tarafından önerilmektedir.

Bizim bilgimize göre şehirlerin temiz hava planlarının hazırlanması sırasında yapılan emisyon envanterlerinde konut ısıtılması, motorlu taşıtlar ve sanayi tesislerinden kaynaklanan emisyonlar katılmaktadır. Ancak bu çalışma da görüldüğü üzere hava yolu trafiğinden de belirli miktarlarda emisyon şehirlerin hava kalitesini etkilemektedir. Bu çalışmada elde edilen emisyon miktarları her bir şehir için hazırlanan emisyon envanterlerine dahil edilebilir.

Bu tez çalışmasında veri temini sırasında bazı aksaklıklar yaşanmıştır. Kùltür ve Turizm Bakanlığı tarafından yayınlanan, Tarifersiz İç Hat uçuşlarının istatistikleri en son 2013 yılında yayınlanmış olup, gùncel verileri içermemektedir. Ayrıca uçuş istatistikleri uçak tiplerine göre ayrı ayrı yapılmamaktadır. Oysaki her uçak tipinin emisyon miktarı farklıdır. Devlet Hava Limanları İşletmesinden uçak tiplerine ait uçuş bilgileri resmi yazıyla talep edilmiştir. Ancak verilen cevapta bu bilgilerin işletmede bulunmadığı ve uçak tiplerine ait uçuş bilgilerinin havayolu şirketlerinden alınması istenmiştir. Bu tip verilerin en azından kamu kurumları ve üniversiteler ile ücretsiz olarak paylaşılması için gerekli alt yapı hazırlanmalıdır.





KAYNAKLAR

- Akdur R, Çöl M, Işık A, İdil A, Durmuşoğlu M ve Tunçbilek A** (1998) Çevre Kirliliği ve İnsan Sağlığı. *Halk Sağlığı*, Akdur R (Ed), ISBN:975-7226-15-7, Antıp Aş Tıp Kitapları Ve Bilimsel Yayınlar, Ankara, 53-58.
- Altuntaş Ö ve Karakoç H** (2011) Türkiye'deki Bazı Hava Alanlarında İç Hat Uçuşları için Uçak Seçiminde Çevresel Etkilerin Göz Önünde Bulundurulmasının İncelenmesi. *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5(1): 11-18.
- Anderson B E, Rind D H, Singh H B, Wuebbles D J, Baughcum S L, Hallet J, Rasch P J, Sassen K and Williams L R** (1997) *Atmospheric Effects of Subsonic Aircraft: Interim Assessment Report of the Advanced Subsonic Technology Program*, Friedly R R (Ed.), Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 168 pp.
- Atalık A** (2005) *Küresel Isınma, Su Kaynakları ve Tarım Üzerine Etkileri*. Adres: http://www.zmo.org.tr/resimler/ekler/ce6d3c8830d27ec_ek.pdf
- Atkinson R** (2000) Atmospheric chemistry of VOCs and NOx, *Atmospheric Environment*, 34: 2063–2101
- Bağış S, Çavuş P C ve Toros H** (2015) CBS Yardımıyla Emisyon Envanteri Oluşturulması: Ankara Örneği. *VII. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, 28-30 Nisan 2015, İstanbul.
- Brasseur G P, COX R A, Hauglustaine D, Isaksen I, Lelieveld J, Lister D H, Sausen R, Schumann U, Wahner A and Wiesen P** (1998) European Scientific Assessment of the Atmospheric Effects of Aircraft Emissions. *Atmosphere Environment*, 13:2329-2418.
- Can S B ve Yay O D** (2014) Biyojenik Uçucu Organik Bileşiklerin Emisyonlarının Mevsimlere Göre Değişiminin Uydu Verileri Desteğiyle Belirlenmesi. *5. Uzaktan Algılama - CBS Sempozyumu*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Cicerone R J, Barron E J, Dickinson R E, Fung I Y, Hansen J E, Karl T R, Lindzen R S, McWilliams J C, Rowland F S, Sarachik E S and John M W** (2001) *Climate Change Science: An Analysis of Some Key Questions*, ISBN: 0-309-07574-2, National Academy Press, Washington, 42pp.
- Colls J** (2002) *Air Pollution*. 2nd edition, ISBN 0-203-47602-6, Spon Press, London, 560pp.
- Çağatan K** (2011) İstanbul Atatürk Havalimanı için Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi Ve Çevresel Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 105 s.
- Çetin Ş, Alyüz B ve Ayberk S** (2008) Troposferik Ozon Oluşumu, Olumsuz Etkileri ve Kocaeli İli'ndeki Mevcut Durum. *Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli-2008*, 14-17 Mayıs 2008, Kocaeli. 42.s
- Deniz C ve Durmuşoğlu Y** (2008) Estimating Shipping Emissions in the Region of the Sea Of Marmara, Turkey. *Science of the Total Environment*, 390:255-261.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ)** (09.11.2016) Havayolu Sektör Raporu. Adres: <http://dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=14&dosyaID=2008>
- Dinçer F ve Elbir T** (2006) Estimating national exhaust emissions from railway vehicles in Turkey. *Science of the Total Environment*, 374:127–134.
- Durmaz V, Küçükönel H, Özen Mustafa ve Banar M** (2007) Havaalanı faaliyetlerinin Çevresel Etkilerini Azaltmaya Yönelik Mezvuat. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(1): 66-87.
- Durşen M ve Yasun B** (2012) *Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı*. İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.
- Eggleston S, Garnier J Y, Mobley D, Mareckova K, Fontelle J P, Joerss K E, Simmons T, Treanton K, Kilde N A and Olivier J** (1996) Energy (Volume 2). Treanton K (Ed.) *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook*, , International Energy Agency, Paris, 73 pp.
- Elbir T, Müezzinoğlu A ve Bayram A** (2000) Evaluation of some air pollution indicators in Turkey. *Environment International*, 26: 5-10.
- Gillenwater M** (2002) *Greenhouse Gases And Global Warming Potential Values, Exerpt From The Inventory of US Greenhouse Emissions And Sinks: 1990-2000*. US Environmental Protection Agency, USA, pp 16.
- International Civil Aviation Organization (ICAO)** (29.06.2016) ICAO Environmental Report 2007. Adres: http://www.icao.int/environmental-protection/documents/env_report_07.pdf
- İlhan A İ** (2006) T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı “Asit Yağmurları ve Hava Kirliliği Değerlendirme Raporu”, Ankara.
- Kadioğlu M** (2009) Küresel İklim Değişimi ve Türkiye. *Mühendis ve Makine*, 50 (593): 15-25.
- Kesgin U** (2006) Aircraft Emissions at Turkish Airports. *Energy*, 31:372–384.
- Kim B Y, Fleming G G, Lee J J, Waitz I A, Clarke J P, Balasubramanian S, Malwitz A, Klima K, Locke M, Holsclaw C A, Maurice L Q and Gupta M L** (2007) System for Assessing Aviation’s Global Emissions (SAGE), Part 1: Model Description and Inventory Results. *Transportation Research Part D*, 12: 325-346.
- Kousoulidou M and Lonza L** (2016) Biofuels in aviation: Fuel demand and CO2 emissions evolution in Europe toward 2030. *Transportation Research Part D*, 46: 166-181.
- Kopar İ ve Zengin M** (2009) Coğrafi Faktörlere Bağlı Olarak Erzurum Kentinde Hava Kalitesinin Zamansal ve Mekansal Değişiminin Belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, İstanbul, 53: 51-68.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Maurice L Q, Hockstad L, Höhne N, Hupe J, Lee D S and Rypdal K** (2006) Mobile Combustion. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Eggleston S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (Ed.), 3rd, ISBN 4-88788-032-4, IGES, Japan, 78 pp.
- Mazaheri M, Johnson G R and Morawska L** (2011) An Inventory of Particle and Gaseous Emissions From Large Aircraft Thrust Engine Operations at an Airport. *Atmospheric Environment*, 45: 3500-3507.
- Miake-Lye R C** (2005) *Advancing the Understanding of Aviation's Global Impact*. The National Aeronautics and Space Administration and Transport Canada, 12 pp.
- Otken B ve Gümüşay M Ü** (2009) Karayolunda Hareket Halindeki Taşıtların Çevreye Yayıdıkları Emisyonların Analizi için Cbs'de Arayüzlerin Hazırlanması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 7 Mayıs 2009, Ankara.
- Oktal H ve Küçükönel H** (2007) Dünyada Bölgesel Hava Taşımacılığı Ve Türkiye'de Uygulanabilirliği. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2): 383-394.
- Pekin M A** (2006) Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 99 s.
- Perl A, Patterson J and Perez M** (1997) Pricing Aircraft Emissions at Lyon-Satolas Airport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(2): 89-105.
- Pham V V, Tang J, Alam S, Lokan C and Abbass H A** (2010) Aviation emission inventory development and analysis. *Environmental Modelling & Software*, 25(12): 1738-1753.
- Saldıraner Y** (2011) *Dünyada ve Türkiye'de Sivil Havacılık Faaliyetleri Gelişimi*. Atılım Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, İstanbul. Adres: <http://kurumsal.data.atilim.edu.tr/pdfs/111118.pdf> Ziyaret tarihi: 13.12.2016.
- Samsunlu A** (2011) *Çevre Mühendisliği Kimyası*. 1. Baskı, ISBN: 975-511-427-0, Birsen Yayınevi, İstanbul, 402s.
- Saral A** (2011) Hava Kirliliği Nedir, Ülkemizdeki Durumdan Kesitler. *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim*, İstanbul, 135: 34-41.
- Sausen R and Schumann U** (2000) Estimates of The Climate Response to Aircraft CO₂ and NO_x Emissions Scenarios. *Climatic Change*, 44: 27-58.
- Schafer K, Jahn C, Sturm P, Lechner B and Bacher M** (2003) Aircraft emission measurements by remote sensing methodologies at airports. *Atmospheric Environment*, 37:5261-5271.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Schumann U** (2002) Causes and consequences of global environmental change, Aircraft Emission. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, Douglas I (Ed), ISBN 0-471-97796-9, John Wiley & Sons, Chichester, pp 178–186.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)** (29.02.2016) Faaliyet Raporu 2015. Adres: http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/raporlar/2015_faaliyet_raporu_29.02.2016.pdf
- Song S and Shon Z** (2012) Emissions of Greenhouse Gases and Air Pollutants from Commercial Aircraft at International Airports in Korea. *Atmospheric Environment*, 61:148-158.
- Tecim V** (1999) Bilgi Teknolojilerinde Yeni Bir Gelişme: Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bilgi Sistemleri Arasındaki Yeri. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14 (1): 1-12.
- Turoğlu H** (2011) *Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları*. 3. Baskı, ISBN 978-975-9060-51-0, Çantay Kitapevi, İstanbul, 341 s.
- Tünay O ve Alp K** (1996) *Hava Kirlenmesi Kontrolü*. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 175 s.
- URL-1** <https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/atmosphere-layers2.html>, Ziyaret tarihi: 15.12.2016.
- URL-2** <<https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=atmosfer>>, Ziyaret tarihi: 15.12.2016.
- URL-3** <<http://scied.ucar.edu/atmosphere-layers>>, Ziyaret tarihi: 15.12.2016.
- URL-4** <<https://www.co2.earth/>>, Ziyaret tarihi: 13.11.2016
- URL-5** <http://www.emo.org.tr/ekler/0278b30844ad239_ek.pdf?dergi=>>, Ziyaret tarihi: 15.11.2016.
- URL-6** <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava_kirliligi_ve_kirleticiler_rapor1.pdf>, Ziyaret tarihi: 15.11.2016.
- URL-7** <<http://www.nkfu.com/havacilik-tarihi-ve-gelisimi/>>, Ziyaret tarihi: 04.12.2016.
- URL-8** <<http://www.turkishairlines.com/tr-tr/kurumsal/tarihce>>, Ziyaret tarihi: 09.11.2016.
- URL-9** <[http://www.thyopet.com/Sites/1/upload/files/JP-8_URUN_GUVENLIK_BILGI_FORMU_\(MSDS\)_MATERIAL_SAFETY_DATA_SHEET-11.pdf](http://www.thyopet.com/Sites/1/upload/files/JP-8_URUN_GUVENLIK_BILGI_FORMU_(MSDS)_MATERIAL_SAFETY_DATA_SHEET-11.pdf)>, Ziyaret tarihi: 12.11.2016.
- URL-10** <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.php?idp=22>>, Ziyaret tarihi: 13.10.2016.
- URL-11** <<http://adg.stanford.edu/aa241/emissions/AA241Emissions.pdf>>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-12** <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.php?idp=36>>, Ziyaret tarihi: 15.01.2017.
- URL-13** <https://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/factsheets/FS_what_ipcc.pdf>, Ziyaret tarihi: 10.01.2017.
- URL-14** <https://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml>, Ziyaret tarihi: 10.01.2017.
- URL-15** <<http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/Kyoto.aspx?sflang=tr>>, Ziyaret tarihi: 10.01.2017.
- URL-16** <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>>, Ziyaret tarihi: 10.01.2017.
- URL-17** <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5.html>>, Ziyaret tarihi: 10.01.2017.
- URL-18** <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf>, Ziyaret tarihi: 10.01.2017.
- URL-19** <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_1_Overview.pdf>, Ziyaret tarihi: 10.01.2017.
- URL-20** <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>>, Ziyaret tarihi: 10.01.2017.
- URL-21** <<http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=haberdetay&Id=10505>>, Ziyaret tarihi: 08.12.2016.
- URL-22** <<http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=duyurudetay&Id=26571>>, Ziyaret tarihi: 08.12.2016.
- URL-23** <<http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=duyurudetay&Id=36515>>, Ziyaret tarihi: 08.12.2016.
- URL-24** <http://www.embraercommercialaviation.com/AircraftPDF/E190_Weights.pdf>, Ziyaret tarihi: 20.09.2016.
- URL-25** <<http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/a320/specifications/>>, Ziyaret tarihi: 20.09.2016.
- URL-26** <<http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/a318/specifications/>>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.
- URL-27** <<http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/a319/specifications/>>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-28** <<http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/a320/specifications/>>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.
- URL-29** <<http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/a321/specifications/>>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.
- URL-30** <<http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a330family/a330-300/specifications/>>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.
- URL-31** <http://www.boeing.com/farnborough2014/pdf/BCA/Bck%20-%20NG%20737%20Family_June%202014.pdf>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.
- URL-32** <<http://www.boeing.com.tr/urunler-ve-hizmetler/ticari-ucaklar/777.page?>>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.
- URL-33** <http://www.embraercommercialaviation.com/AircraftPDF/E190_Cabin.pdf>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.
- URL-34** <http://www.embraercommercialaviation.com/AircraftPDF/E195_Cabin.pdf>, Ziyaret tarihi: 19.11.2016.
- URL-35** <https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27deki_havalimanlar%C4%B1_listesi>, Ziyaret tarihi:13.08.2016.
- URL-36** <<http://thebaykus.com/2013/05/20/boeing-787-dreamliner/>>, Ziyaret tarihi: 22.11.2016.
- URL-37** <http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/projeler/YESIL_HAVA_ALANI_PROJESI_UYGULAMA_ESASLARI.pdf>, Ziyaret tarihi 18.12.2016.
- URL-38** <<http://politikaakademisi.org/2015/08/05/dunya-ekonomik-gelismislik-siralamasi/>>, Ziyaret tarihi: 20.02.2017.
- Zeydan Ö** (2008) Zonguldak Bölgesinde Sera Gazı Emisyon Miktarlarını Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 130s.
- Wahner A, Geller M A, Arnold F, Brune W H, Cariolle D A, Douglass A S, Johnson C, Lister D H, Pyle J A, Ramarosan R, Rind D, Rohrer F, Schumann U and Thompson A M** (1995) Chapter 11 in Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994. *Subsonic and Supersonic Aircraft Emissions*, 11(1): 11-32.
- Wasiuk D K, Khan H M, Shallcross D E and Lowenberg M H** (2016) A Commercial Aircraft Fuel Burn and Emissions Inventory for 2005–2011. *Atmosphere* 2016, 7(6): 1-14.
- Winther M and Rypdal K** (2014) Aviation. *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013 (Updated August 2014)*, Nielsen O K (Ed.), 12/2013, ISBN 978-92-9213-403-7, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 1-50.

EK AÇIKLAMALAR

Ek A: Havalimanları Koordinatları

Çizelge A.1 Emisyon değerleri hesaplanan havalimanlarının koordinatları.

IATA kodu	Havalimanı İsmi	Enlem	Boylam
ADA	Adana Havalimanı	36.981944	35.280278
ADF	Adıyaman Havalimanı	37.731667	38.468889
AJI	Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı	39.654444	43.027222
MZH	Amasya-Merzifon Havalimanı	40.829167	35.521944
ESB	Ankara-Esenboğa Havalimanı	40.128056	32.995000
AYT	Antalya Havalimanı	36.900278	30.792778
GZP	Alanya-Gazipaşa Havalimanı	36.299167	32.300278
EDO	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı	39.554444	27.013611
BAL	Batman Havalimanı	37.932222	41.118611
YEI	Bursa-Yenişehir Havalimanı	40.255000	29.562500
CKZ	Çanakkale Havalimanı	40.137500	26.426667
DNZ	Deniz-Çardak Havalimanı	37.785556	29.701111
DIY	Diyarbakır Havalimanı	37.893889	40.200833
EZS	Elağzı Havalimanı	38.606667	39.291389
ERC	Erzincan Havalimanı	39.710833	39.526944
ERZ	Erzurum Havalimanı	39.955278	41.169167
GZT	Gaziantep Havalimanı	36.947778	37.478889
HTY	Hatay Havalimanı	36.362778	36.282222
IGD	Iğdır Havalimanı	39.983056	43.866389
ISE	Isparta-Süleyman Demirel Havalimanı	37.865000	30.381944
IST	İstanbul Atatürk Havalimanı	40.976111	28.814167
SAW	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	40.896667	29.304167
ADB	İzmir Andan Menderes Havalimanı	38.289167	27.155000
KCM	Kahramanmaraş Havalimanı	37.538889	36.953333
NAV	Kapadokya Havalimanı	38.774444	34.527778
KSY	Kars-Harakani Havalimanı	40.562222	43.115000
KFS	Kastamonu Havalimanı	41.308333	33.795000
ASR	Kayseri-Erkilet Havalimanı	38.770278	35.495278
KYA	Konya Havalimanı	37.978889	32.561667
KZR	Kütahya Zafer Havalimanı	39.111389	30.130000
MLX	Malatya Erhac Havalimanı	38.435278	38.091111
MQM	Mardin Havalimanı	37.231944	40.640278
DLM	Muğla Dalaman Havalimanı	36.714722	28.792778
BJV	Muğla Milas Havalimanı	37.250556	27.664167
MSR	Muş Havalimanı	38.748611	41.658333
OGU	Ordu-Giresun Havalimanı	40.966944	38.076389
SZF	Samsun-Çarşamba Havalimanı	41.256944	36.563889
SXZ	Siirt Havalimanı	37.979722	41.843056
NOP	Sinop Havalimanı	42.015833	35.066944
VAS	Sivas Nuri Demirdağ Havalimanı	39.811667	36.902500

Çizelge A.1 (devam ediyor).

IATA kodu	Havalimanı İsmi	Enlem	Boylam
GNV	Şanlıurfa-GAP Havalimanı	37.450000	38.900556
NKT	Şırnak Havalimanı	37.363889	42.059722
TEQ	Tekirdağ-Çorlu Havalimanı	41.138333	27.919167
TJK	Tokat Havalimanı	40.311667	36.373611
TZX	Trabzon Havalimanı	40.996389	39.785278
VAN	Van Havalimanı	38.468333	43.332222



Ek B: LTO Emisyonları**Çizelge B.1** Havalimanlarındaki aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan LTO emisyonları.

Havalimanı	Emisyon Miktarı (ton/yıl)						LTO _{yakıt} (ton/yıl)
	CO ₂	NO _x	CO	HC	H ₂ O	PM _{2,5}	
ADA	47090.07	202.58	118.30	10.99	18388.01	1.72	14949.27
ADF	2026.12	8.98	5.18	0.51	791.17	0.07	643.20
AJI	2818.09	11.72	8.65	1.24	1100.40	0.11	894.62
MZH	1805.03	7.23	6.06	0.99	704.82	0.07	573.01
ESB	134782.31	584.62	350.73	36.50	52630.37	4.78	42787.78
AYT	60566.60	260.50	147.17	12.37	23650.39	2.15	19227.65
GZP	5047.18	21.35	11.79	0.84	1970.85	0.18	1602.31
EDO	2700.82	10.55	8.98	1.31	1054.63	0.11	857.42
BAL	6060.24	25.84	14.38	1.10	2366.44	0.22	1923.92
YEI	2026.12	8.98	5.18	0.51	791.17	0.07	643.20
CKZ	1805.03	7.23	6.06	0.99	704.82	0.07	573.01
DNZ	5047.18	21.35	11.79	0.84	1970.85	0.18	1602.31
DIY	19202.83	82.56	46.32	3.76	7498.45	0.69	6096.19
EZS	8077.30	34.27	18.98	1.39	3154.07	0.29	2564.27
ERC	3030.12	12.92	7.19	0.55	1183.22	0.11	961.96
ERZ	10130.58	44.90	25.92	2.56	3955.87	0.37	3216.02
GZT	20215.89	87.05	48.91	4.02	7894.04	0.73	6417.80
HTY	11617.59	73.15	28.47	2.99	4536.44	0.29	3688.11
IGD	2026.12	8.98	5.18	0.51	791.17	0.07	643.20
ISE	1004.01	3.94	2.01	0.04	392.05	0.04	318.75
IST	155556.65	658.97	375.11	30.73	60742.39	5.51	49383.84
SAW	191860.13	831.69	498.44	48.22	76094.76	7.15	61864.47
ADB	78846.90	344.05	196.74	18.07	30788.66	2.81	25030.71
KCM	4025.07	16.32	8.61	0.37	1571.73	0.15	1277.87
NAV	4052.23	17.96	10.37	1.02	1582.35	0.15	1286.41
KSY	5065.29	22.45	12.96	1.28	1977.94	0.18	1608.01
KFS	2026.12	8.98	5.18	0.51	791.17	0.07	643.20
ASR	18207.88	79.17	44.90	3.94	7109.94	0.66	5780.29
KYA	8973.09	37.60	21.90	1.72	3503.89	0.33	2848.68
KZR	791.98	2.74	3.47	0.73	309.23	0.04	251.41
MLX	8095.41	35.37	20.15	1.83	3161.16	0.29	2569.97
MQM	7082.35	30.88	17.56	1.57	2765.57	0.26	2248.36
DLM	8086.36	34.82	19.56	1.61	3157.62	0.29	2567.12
BJV	7856.22	32.52	19.86	1.86	3067.72	0.29	2494.08
MSR	3021.07	12.37	6.61	0.33	1179.68	0.11	959.11
OGU	9108.47	39.86	22.74	2.08	3556.74	0.33	2891.57
SZF	16752.66	71.18	44.06	4.64	6541.64	0.62	5318.31
SXZ	1583.95	5.48	6.94	1.46	618.46	0.07	502.82
NOP	791.98	2.74	3.47	0.73	309.23	0.04	251.41
VAS	4052.23	17.96	10.37	1.46	1582.35	0.15	1286.41

Çizelge B.1 (devam ediyor).

Havalimanı	Emisyon Miktarı (ton/yıl)						LTO _{yakıt} (ton/yıl)
	CO ₂	NO _x	CO	HC	H ₂ O	PM _{2.5}	
GNV	7082.35	30.88	17.56	1.57	2765.57	0.26	2248.36
NKT	3039.17	13.47	7.77	0.77	1186.76	0.11	964.80
TEQ	1013.06	4.49	2.59	0.26	395.59	0.04	321.60
TJK	791.98	2.74	3.47	0.73	309.23	0.04	251.41
TZX	31350.47	135.89	76.83	6.61	12241.95	1.13	9952.56
VAN	14173.75	62.31	35.70	3.36	5534.68	0.51	4499.57

EK C: Seyir Emisyonları

Çizelge C.1 Bir havalimanından diğerine aktarmasız iç hat seferlerinden kaynaklanan seyir emisyonları.

Kalkış HVL	Varış HVL	SEYİR EMİSYONLARI (ton/yıl)						
		CO ₂	N ₂ O	CO	NO _x	NM VOC	SO ₂	PM _{2.5}
ESB	ADA	4563.84	0.14	2.90	14.92	0.14	1.45	0.29
ESB	ADF	1275.66	0.04	0.81	4.17	0.04	0.40	0.08
ESB	AJI	2592.50	0.08	1.65	8.48	0.08	0.82	0.16
ESB	HTY	1124.20	0.04	0.71	3.68	0.04	0.36	0.07
ESB	AYT	7539.67	0.24	4.79	24.65	0.24	2.39	0.48
ESB	BAL	1271.45	0.04	0.81	4.16	0.04	0.40	0.08
ESB	BJV	1355.59	0.04	0.86	4.43	0.04	0.43	0.09
ESB	YEI	577.27	0.02	0.37	1.89	0.02	0.18	0.04
ESB	CKZ	758.17	0.02	0.48	2.48	0.02	0.24	0.05
ESB	DIY	5515.81	0.18	3.50	18.04	0.18	1.75	0.35
ESB	DLM	1199.93	0.04	0.76	3.92	0.04	0.38	0.08
ESB	EDO	647.79	0.02	0.41	2.12	0.02	0.21	0.04
ESB	EZS	2753.26	0.09	1.75	9.00	0.09	0.87	0.17
ESB	ERC	1338.76	0.04	0.85	4.38	0.04	0.43	0.09
ESB	ERZ	3890.08	0.12	2.47	12.72	0.12	1.23	0.25
ESB	GZT	3612.40	0.11	2.29	11.81	0.11	1.15	0.23
ESB	GZP	796.04	0.03	0.51	2.60	0.03	0.25	0.05
ESB	IGD	2882.80	0.09	1.83	9.43	0.09	0.92	0.18
ESB	ADB	12714.49	0.40	8.07	41.57	0.40	4.04	0.81
ESB	KCM	682.45	0.02	0.43	2.23	0.02	0.22	0.04
ESB	KCY	2600.92	0.08	1.65	8.50	0.08	0.83	0.17
ESB	MLX	997.98	0.03	0.63	3.26	0.03	0.32	0.06
ESB	MQM	2374.61	0.08	1.51	7.76	0.08	0.75	0.15
ESB	MSR	2184.41	0.07	1.39	7.14	0.07	0.69	0.14
ESB	OGU	833.90	0.03	0.53	2.73	0.03	0.26	0.05
ESB	SZF	725.40	0.02	0.46	2.37	0.02	0.23	0.05
ESB	SXZ	1840.99	0.06	1.17	6.02	0.06	0.58	0.12
ESB	GNV	3115.07	0.10	1.98	10.19	0.10	0.99	0.20
ESB	NKT	2546.22	0.08	1.62	8.33	0.08	0.81	0.16
ESB	TEQ	804.45	0.03	0.51	2.63	0.03	0.26	0.05
ESB	TZX	4496.79	0.14	2.86	14.70	0.14	1.43	0.29
ESB	VAN	11245.09	0.36	7.14	36.77	0.36	3.57	0.71
IST	ASR	14400.22	0.46	9.14	47.09	0.46	4.57	0.91
IST	ADB	6828.95	0.22	4.34	22.33	0.22	2.17	0.43
IST	ADA	27657.55	0.88	17.56	90.44	0.88	8.78	1.76
IST	AJI	3590.98	0.11	2.28	11.74	0.11	1.14	0.23
IST	ESB	3874.86	0.12	5.21	12.67	0.12	1.23	0.25
IST	HTY	7095.94	0.23	4.51	23.20	0.23	2.25	0.45
IST	AYT	16626.79	0.53	10.56	54.37	0.53	5.28	1.06
IST	BAL	12779.86	0.41	8.11	41.79	0.41	4.06	0.81
IST	BJV	1400.60	0.04	0.89	4.58	0.04	0.44	0.09
IST	DNZ	929.26	0.03	0.59	3.04	0.03	0.30	0.06
IST	DLM	1974.26	0.06	1.25	6.46	0.06	0.63	0.13
IST	DIY	17006.48	0.54	10.80	55.61	0.54	5.40	1.08
IST	EZS	8163.79	0.26	5.18	26.69	0.26	2.59	0.52
IST	ERC	2851.81	0.09	1.81	9.32	0.09	0.91	0.18

Çizelge C.1 (devam ediyor).

Kalkış HVL	Varış HVL	SEYİR EMİSYONLARI (ton/yıl)						
		CO ₂	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	SO ₂	PM _{2.5}
IST	ERZ	6817.38	0.22	4.33	22.29	0.22	2.16	0.43
IST	GZT	20708.55	0.66	13.15	67.71	0.66	6.57	1.31
IST	GZP	2699.37	0.09	1.71	8.83	0.09	0.86	0.17
IST	IGD	4363.72	0.14	2.77	14.27	0.14	1.39	0.28
IST	ISE	443.19	0.01	0.28	1.45	0.01	0.14	0.03
IST	KCM	4201.10	0.13	2.67	13.74	0.13	1.33	0.27
IST	KFS	745.55	0.02	0.47	2.44	0.02	0.24	0.05
IST	KSY	4052.39	0.13	2.57	13.25	0.13	1.29	0.26
IST	KYA	3609.21	0.11	2.29	11.80	0.11	1.15	0.23
IST	KZR	57.18	0.00	0.04	0.19	0.00	0.02	0.00
IST	MLX	7587.52	0.24	4.82	24.81	0.24	2.41	0.48
IST	MQM	7238.10	0.23	4.60	23.67	0.23	2.30	0.46
IST	MZH	1249.56	0.04	0.79	4.09	0.04	0.40	0.08
IST	MSR	3364.97	0.11	2.14	11.00	0.11	1.07	0.21
IST	NAV	2559.73	0.08	1.63	8.37	0.08	0.81	0.16
IST	OGU	6767.78	0.21	4.30	22.13	0.21	2.15	0.43
IST	SZF	11329.28	0.36	7.19	37.04	0.36	3.60	0.72
IST	GNV	6110.58	0.19	3.88	19.98	0.19	1.94	0.39
IST	NOP	1141.16	0.04	0.72	3.73	0.04	0.36	0.07
IST	NKT	4187.02	0.13	2.66	13.69	0.13	1.33	0.27
IST	VAS	3838.71	0.12	2.44	12.55	0.12	1.22	0.24
IST	TZX	34002.08	1.08	21.59	111.18	1.08	10.79	2.16
IST	VAN	8668.54	0.28	5.50	28.34	0.28	2.75	0.55
SAW	ADA	24608.57	0.78	15.62	80.47	0.78	7.81	1.56
SAW	ADF	2731.34	0.09	1.73	8.93	0.09	0.87	0.17
SAW	AJI	1321.94	0.04	0.84	4.32	0.04	0.42	0.08
SAW	ESB	10886.47	0.35	6.91	35.60	0.35	3.46	0.69
SAW	HTY	8571.98	0.27	5.44	28.03	0.27	2.72	0.54
SAW	AYT	17903.33	0.57	11.37	58.54	0.57	5.68	1.14
SAW	BAL	3476.01	0.11	2.21	11.37	0.11	1.10	0.22
SAW	BJV	3725.80	0.12	2.37	12.18	0.12	1.18	0.24
SAW	CKZ	16.67	0.00	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00
SAW	DNZ	1251.92	0.04	0.79	4.09	0.04	0.40	0.08
SAW	DLM	4640.33	0.15	2.95	15.17	0.15	1.47	0.29
SAW	DIY	21264.81	0.68	13.50	69.53	0.68	6.75	1.35
SAW	EDO	91.17	0.00	0.06	0.30	0.00	0.03	0.01
SAW	EZS	7195.17	0.23	4.57	23.53	0.23	2.28	0.46
SAW	ERC	2676.64	0.08	1.70	8.75	0.08	0.85	0.17
SAW	ERZ	12944.79	0.41	8.22	42.33	0.41	4.11	0.82
SAW	GZT	15940.68	0.51	10.12	52.12	0.51	5.06	1.01
SAW	GZP	1418.70	0.05	0.90	4.64	0.05	0.45	0.09
SAW	ADB	9926.06	0.32	6.30	32.46	0.32	3.15	0.63
SAW	KCM	1937.15	0.06	1.23	6.33	0.06	0.61	0.12
SAW	KSY	7734.55	0.25	4.91	25.29	0.25	2.46	0.49
SAW	KFS	585.68	0.02	0.37	1.92	0.02	0.19	0.04
SAW	ASR	12631.79	0.40	8.02	41.30	0.40	4.01	0.80
SAW	KYA	3866.18	0.12	2.45	12.64	0.12	1.23	0.25

Çizelge C.1 (devam ediyor).

Kalkış HVL	Varış HVL	SEYİR EMİSYONLARI (ton/yıl)						
		CO ₂	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	SO ₂	PM _{2.5}
SAW	MLX	7058.08	0.22	4.48	23.08	0.22	2.24	0.45
SAW	MQM	6558.32	0.21	4.16	21.44	0.21	2.08	0.42
SAW	MZH	1187.31	0.04	0.75	3.88	0.04	0.38	0.08
SAW	MSR	3201.57	0.10	2.03	10.47	0.10	1.02	0.20
SAW	NAV	2223.15	0.07	1.41	7.27	0.07	0.71	0.14
SAW	OGU	10172.35	0.32	6.46	33.26	0.32	3.23	0.65
SAW	SZF	10873.31	0.35	6.90	35.55	0.35	3.45	0.69
SAW	GNY	8376.43	0.27	5.32	27.39	0.27	2.66	0.53
SAW	SXZ	2899.42	0.09	1.84	9.48	0.09	0.92	0.18
SAW	NKT	3909.35	0.12	2.48	12.78	0.12	1.24	0.25
SAW	VAS	3485.30	0.11	2.21	11.40	0.11	1.11	0.22
SAW	TJK	135.00	0.00	0.09	0.44	0.00	0.04	0.01
SAW	TZX	32321.67	1.03	20.52	105.69	1.03	10.26	2.05
SAW	VAN	16266.58	0.52	10.33	53.19	0.52	5.16	1.03
ADB	ADA	12374.38	0.39	7.86	40.46	0.39	3.93	0.79
ADB	HTY	2424.21	0.08	1.54	7.93	0.08	0.77	0.15
ADB	AYT	1955.66	0.06	1.24	6.39	0.06	0.62	0.12
ADB	DIY	7583.09	0.24	4.81	24.80	0.24	2.41	0.48
ADB	ERZ	4128.12	0.13	2.62	13.50	0.13	1.31	0.26
ADB	GZT	5630.96	0.18	3.58	18.41	0.18	1.79	0.36
ADB	KSY	4843.34	0.15	3.08	15.84	0.15	1.54	0.31
ADB	ASR	2138.13	0.07	1.36	6.99	0.07	0.68	0.14
ADB	MLX	3088.95	0.10	1.96	10.10	0.10	0.98	0.20
ADB	MQM	4022.94	0.13	2.55	13.15	0.13	1.28	0.26
ADB	SZF	2567.26	0.08	1.63	8.39	0.08	0.82	0.16
ADB	TZX	3682.16	0.12	2.34	12.04	0.12	1.17	0.23
ADB	VAN	9821.30	0.31	6.24	32.11	0.31	3.12	0.62
ADA	AYT	2662.47	0.08	1.69	8.71	0.08	0.85	0.17
ADA	TZX	1448.15	0.05	0.92	4.74	0.05	0.46	0.09
ADA	VAN	2062.40	0.07	1.31	6.74	0.07	0.65	0.13
AYT	GZT	1486.01	0.05	0.94	4.86	0.05	0.47	0.09
AYT	TZX	2776.29	0.09	1.76	9.08	0.09	0.88	0.18
AYT	DIY	5025.13	0.16	3.19	16.43	0.16	1.60	0.32
AYT	VAN	3682.16	0.12	2.34	12.04	0.12	1.17	0.23
YEI	ERZ	2990.85	0.09	1.90	9.78	0.09	0.95	0.19



Ek D: Şehirlerdeki Emisyonlar**Çizelge D.1** Şehirlerdeki CO₂, CO, NO_x VE PM_{2.5} emisyonlarının değerleri.

ŞEHİRLER	EMİSYON MİKTARI (ton/yıl)			
	Toplam CO ₂	Toplam CO	Toplam NO _x	Toplam PM _{2.5}
Adana	75418.77	136.64	297.06	4.02
Adıyaman	14780.25	13.28	50.68	1.24
Afyonkarahisar	34629.54	21.99	113.23	2.20
Ağrı	4270.21	9.57	16.46	0.20
Amasya	31693.79	25.04	104.96	1.97
Ankara	278448.63	442.02	1056.77	13.95
Antalya	81616.37	169.12	334.18	3.47
Artvin	1421.47	0.90	4.65	0.09
Aydın	4259.30	2.70	13.93	0.27
Balıkesir	18317.08	18.89	61.61	1.10
Bilecik	30293.84	19.38	99.83	1.94
Bingöl	11030.34	4.90	36.07	0.70
Bitlis	8061.86	3.56	26.36	0.88
Bolu	98482.38	63.54	326.20	6.33
Burdur	11796.53	7.49	38.57	0.75
Bursa	46054.99	33.25	153.55	2.88
Çanakkale	2055.24	6.22	8.05	0.09
Çankırı	29661.36	16.86	96.99	1.88
Çorum	58719.52	35.44	192.00	3.73
Denizli	17128.27	19.46	60.86	0.95
Diyarbakır	46440.65	62.29	164.79	2.64
Edirne	0.00	0.00	0.00	0.00
Elazığ	27584.14	30.20	92.39	1.42
Erzincan	23738.48	17.65	80.63	1.57
Erzurum	21930.98	33.41	83.48	1.11
Eskişehir	60801.62	39.37	202.75	3.94
Gaziantep	28740.83	54.32	114.93	1.63
Giresun	20547.94	13.05	67.19	1.53
Gümüşhane	9164.22	5.82	29.97	0.75
Hakkari	0.00	0.00	0.00	0.00
Hatay	12670.63	29.14	76.59	0.36
Isparta	26665.65	18.30	87.85	1.67
Mersin	15626.87	9.92	51.10	1.41
İstanbul	386946.72	898.78	1619.96	15.17
İzmir	101559.48	211.16	418.32	4.25
Kars	9686.82	15.89	37.56	0.48
Kastamonu	32659.16	24.63	109.14	2.02
Kayseri	62877.04	73.83	228.16	3.55
Kırklareli	0.00	0.00	0.00	0.00
Kırşehir	34501.98	22.23	114.50	2.22

Çizelge D.1 (devam ediyor).

ŞEHİRLER	EMİSYON MİKTARI (ton/yıl)			
	Toplam CO ₂	Toplam CO	Toplam NO _x	Toplam PM _{2.5}
Kocaeli	69023.71	44.14	226.97	4.41
Konya	93096.73	75.92	315.80	6.14
Kütahya	36516.97	26.15	119.55	2.30
Malatya	54013.04	47.42	175.84	3.02
Manisa	34950.48	22.19	114.28	2.22
Kahramanmaraş	29299.39	24.98	100.59	2.35
Mardin	11645.64	20.45	45.80	0.55
Muğla	19715.35	41.82	79.68	0.82
Muş	11738.79	10.74	40.88	0.66
Nevşehir	31663.38	28.46	111.12	1.95
Niğde	38276.63	24.30	125.16	2.43
Ordu	30361.36	19.28	99.28	1.93
Rize	1920.12	1.22	6.28	0.12
Sakarya	82738.06	53.56	272.36	5.29
Samsun	47128.99	63.34	170.50	2.55
Siirt	1994.31	7.20	6.82	0.35
Sinop	6903.24	7.35	22.72	0.42
Sivas	80055.93	54.32	255.43	5.07
Tekirdağ	1200.39	2.71	5.10	0.05
Tokat	20096.92	15.63	65.86	1.26
Trabzon	40623.54	82.72	166.21	1.89
Tunceli	9557.15	4.09	31.25	0.61
Şanlıurfa	16526.74	23.55	61.76	1.19
Uşak	18784.70	11.93	61.42	1.19
Van	20016.85	38.44	81.41	1.12
Yozgat	62040.74	36.74	192.83	3.74
Zonguldak	14516.82	9.22	47.47	0.92
Aksaray	46758.28	30.61	157.64	3.06
Bayburt	8181.00	5.19	26.75	0.52
Karaman	12632.56	8.02	41.31	1.20
Kırıkkale	68103.10	41.84	215.49	4.18
Batman	13314.91	18.28	45.94	0.97
Şırnak	3565.26	8.11	15.19	0.14
Bartın	406.51	0.26	1.33	0.03
Ardahan	0.00	0.00	0.00	0.00
İğdır	2665.09	5.59	11.07	0.11
Yalova	15793.26	10.05	51.73	1.00
Karabük	28810.06	18.29	94.20	1.83
Kilis	222.59	0.14	0.73	0.01
Osmaniye	7246.62	4.60	23.70	0.70
Düzce	33714.96	20.01	110.24	2.14

ÖZGEÇMİŞ

Yasemin Yıldız Şekertekin 1991 yılında Bursa’da doğdu. İlk ve orta öğretiminin ardından 2009 yılında lise öğrenimini Bursa’da tamamladı. 2009 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü kazandı. Lisans eğitimini 2014 yılında bölüm 3.’sü olarak tamamladı. Aynı yıl Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2015 yılında Çevre Görevlisi Belgesini alarak Çevre Mühendisi – Çevre Görevlisi Ünvanını aldı.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: İncivez Mah. Binbaşı Tahsin Sok. Yavuzkent Sit. A-Blok Daire:35
Zonguldak 67100

Tel: (+90) 535 630 96 92

E-posta: yasemen.yildiz@hotmail.com